

STUDIA I MONOGRAFIE
AKADEMII WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. POLSKICH OLIMPIJCZYKÓW
WE WROCŁAWIU

NR 148

**„WOKÓŁ CZŁOWIEKA”
INTERDYSCYPLINARNE
PERSPEKTYWY
W BADANIACH
MŁODYCH NAUKOWCÓW**

REDAKCJA NAUKOWA
Małgorzata Słowińska-Lisowska
Jarosław Domaradzki
Kamil Michalik

WROCŁAW 2026

RADA WYDAWNICZA

Wojciech Cieśliński
Sebastian Klich
Jarosław Marusiak
Krzysztof Pezdek
Małgorzata Sekułowicz
Tomasz Sipko
Małgorzata Stefańska
Agnieszka Szpala
Sławomir Winiarski (przewodniczący)

KOREKTA

Beata Irzykowska
Joanna Malec

SKŁAD

Beata Irzykowska

KOORDYNATOR

Magdalena Jadwiszczak

PROJEKT OKŁADKI

Emilia Semań

RECENZENCI

Tadeusz Ambroży
Michalina Błażkiewicz
Michał Bronikowski
Anna Brzęk
Iwona Chlebicka
Iwona Chomiak-Orsa
Stanisław Czyż
Katarzyna Kisiel-Sajewicz
Sebastain Klich
Joanna Kostka
Iwona Malicka
Dariusz Mroczek
Paweł Piepiora
Rafał Poręba
Kuba Ptaszkowski
Elżbieta Rajkowska-Labon
Krystyna Rożek-Piechura
Michał Wilk

© Copyright by Wydawnictwo AWF Wrocław, 2026

ISSN 2956-5065

ISBN 978-83-977864-5-5



Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
51-617 Wrocław, al. Ignacego Jana Paderewskiego 35
<https://wydawnictwo.awf.wroc.pl/> Wydanie I

prawolubni

Książka, którą nabyłeś, jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy, abyś przestrzegał praw, jakie im przysługują. Jej zawartość możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym. Ale nie publikuj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. A kopiując jej część, rób to jedynie na użytek osobisty. Szanujmy cudzą własność i prawo. Więcej na www.legalnakultura.pl

Polska Izba Książki

SPIS TREŚCI

SŁOWO WSTĘPNE.....	5
--------------------	---

I. NAUKI O SPORTCIE

Nikoła Chokoszewska Praktyczne aspekty relacji trener–jeździec na przykładzie sportów konnych.....	11
Emilia Feldman, Krystyna Rożek-Piechura, Paulina Okrzymowska Wpływ treningu mięśni wdechowych na wentylację płuc i funkcję mięśni oddechowych u osób uprawiających wspinaczkę wysokogórską.....	23
Oliwia Gruszczyńska, Lena Grzechowiak, Oliwia Jabłońska, Damian Pawlik, Rafał Szafraniec Międzysesyjna rzetelność wskaźników asymetrii podczas skoku CMJ u siatkarek w wieku 16–17 lat	38
Lena Grzechowiak, Oliwia Gruszczyńska, Oliwia Jabłońska, Damian Pawlik, Rafał Szafraniec Związki między siłą mięśni oddechowych a sprawnością fizyczną siatkarek w wieku 15–17 lat	52
Jakub Malik, Mikołaj Wieczorek, Dariusz Mroczek, Kamil Michalik Dokładność odtwarzania submaksymalnych prędkości biegu oraz jej związki z wybranymi wskaźnikami funkcji nerwowo-mięśniowej u aktywnych fizycznie mężczyzn	65
Paulina Pintak, Edyta Pieniacka Budowanie marki osobistej piłkarek w mediach społecznościowych: czynniki sprzyjające i ograniczające.....	79
Marta Sobkowiak, Julia Ciążyńska Porównanie efektywności jednorazowej sesji ćwiczeń oddechowych i gry ruchowej z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości w optymalizacji czasu reakcji u młodych dorosłych – badania pilotażowe	103
Miłosz Tchorowski, Paulina Kowalonek, Julita Patyna, Jakub Malik, Kamil Michalik Walidacja aplikacji mobilnej w monitorowaniu prędkości i jej obniżenia podczas przysiadu ze sztangą na barkach u osób ćwiczących siłowo	123

II. REHABILITACJA

Adam Brzóska, Lidia Kachnowicz, Norbert Szymański, Iwona Wilk Zastosowanie masażu tensegracyjnego u muzyków aktywnych zawodowo	145
Wiktoria Bugajna, Szymon Trzmiel, Julia Błażniak, Martyna Cioć, Nadia Koper, Magdalena Kurdek, Karolina Rokita, Jarosław Fugiel, Andrzej Rokita Sprawność ręki seniorów z dziennych domów pomocy we Wrocławiu.....	156
Aleksandra Grudzińska, Jerzy Piechura, Krystyna Rożek-Piechura, Paulina Okrzymowska Jakość życia a sprawność fizyczna słuchaczy uniwersytetu trzeciego wieku w kontekście aktywności fizycznej.....	182
Dawid Leśniak, Karolina Kos Ocena przewlekłej niestabilności stawu skokowego u kobiet i mężczyzn z wykorzystaniem Y Balance Test.....	198

Zofia Konicer, Sławomir Winiarski	
Biomechaniczna analiza testu 5xSTS z wykorzystaniem czujników IMU i platform sił reakcji podłoża – badania pilotażowe	211
Nikol Mieszała, Agnieszka Pisula-Lewandowska	
Znajomość i wykorzystanie technik fizjoterapeutycznych oraz automasażu w regeneracji potreningowej u zawodowych piłkarzy	230
Aleksandra Olejniczak, Klaudia Marek, Elżbieta Miller, Igor Zubrycki	
Skuteczność i bezpieczeństwo terapii wspomaganej robotycznie w neurorehabilitacji kończyny górnej po udarze mózgu	246
Oliwier Rachudała, Michalina Frankiewicz, Klaudia Marek, Elżbieta Miller, Yoshifumi Morita, Kazuya Toshima, Igor Zubrycki	
Nowoczesne formy rehabilitacji a psychofizyczne aspekty powrotu do sprawności funkcjonalnej u pacjentów po udarze mózgu. Analiza na przykładzie urządzenia iWakka	262
Jakub Wierciński, Kacper Chojowski, Michał Kuszewski	
Ocena parametrów lepkosprężystych taśmy bocznej w modelu Fascial Manipulation® według Stecco w zwiększonym przyjmowaniu wody.....	280

III. TEMATY RÓŻNE

Łukasz Barcikowski, Dariusz Jamro, Grzegorz Żurek, Maciej Lachowicz	
Liczba błędnych reakcji w Teście Determinacji a wyniki strzeleckie u podchorążych	297
Astrid Brojanowska, Paweł Adam Piepiora	
Motywacja do podejmowania zachowań zdrowotnych a wartości osobiste osób dorosłych	309
Oliwia Bujczyk, Agnieszka Krakos, Magdalena Beata Łabowska	
Bio-drukowane 3D modele narządów w onkologii spersonalizowanej	319
Zuzanna Dzieciatkowska, Zuzanna Szostak, Magdalena Łazorczyk-Szkudlarska	
Rola mediów społecznościowych w motywowaniu do podejmowania aktywności fizycznej młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z.....	345
Fryderyk Gajdzik	
Hybrydowa metoda detekcji pobudzeń ektopowych w zapisie EKG jako narzędzie wspomagające przesiewową identyfikację arytmii.....	362
Nadia Koper, Andrzej Samołyk, Włodzimierz Wiązek, Rafał Szafraniec	
Skuteczność treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności w kształtowaniu sprawności fizycznej żołnierzy – badania wstępne.....	377
Antoni Krupa, Aleksandra Sutkowska, Edyta Pieniacka	
Rola promocji cenowych i ofert typu <i>last minute</i> w procesie decyzyjnym studentów na rynku usług turystycznych – analiza empiryczna.....	389
Ada Nockowska, Katarzyna Joanna Stopa, Krzysztof Gomułka	
Rola palladu w mechanizmie reakcji krzyżowych w alergii kontaktowej na metale – implikacje kliniczne na podstawie opisu przypadku.....	400
Aleksandra Sutkowska, Urszula Szczepanik	
Rola turystyki w kształtowaniu postaw i kompetencji młodzieży w Związku Harcerstwa Rzeczypospolitej.....	409

SŁOWO WSTĘPNE

Nauki o kulturze fizycznej, będące integralną częścią nauk o zdrowiu, stanowią obecnie jeden z kluczowych filarów kształtowania sprawności fizycznej, profilaktyki chorób cywilizacyjnych oraz podnoszenia jakości życia społeczeństw. W obliczu dynamicznych przemian cywilizacyjnych, takich jak postępująca cyfryzacja, rozwój technologii i sztucznej inteligencji, starzenie się społeczeństw oraz wzrost zachorowań na choroby przewlekłe, aktywność fizyczna, rehabilitacja i świadome zarządzanie wysiłkiem fizycznym przestają być jedynie elementem stylu życia. Stają się strategicznym zasobem zdrowia publicznego, a interdyscyplinarność przekształca się z metodologicznego wyboru w konieczność badawczą.

Monografia, przygotowana w ramach kolejnej edycji konferencji organizowanej przez Akademię Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu, zawiera recenzowane prace młodych naukowców reprezentujących różne ośrodki akademickie i wyznaczających sobie różne perspektywy badawcze. Głównym tematem publikacji pozostaje człowiek rozumiany jako złożony system biologiczny, podmiot działań treningowych i terapeutycznych, uczestnik relacji społecznych oraz użytkownik nowoczesnych technologii. Tytuł *Wokół człowieka* symbolizuje integrację różnych obszarów nauki związanych właśnie z człowiekiem. Opracowanie składa się z trzech części: *Nauki o sporcie*, *Rehabilitacja* oraz *Tematy różne*.

Część pierwsza, poświęcona naukom o sporcie, skupia się na optymalizacji diagnostyki wysiłkowej i motorycznej oraz psychospołecznych warunkowaniach funkcjonowania sportowców. Wśród prezentowanych tu prac można odnaleźć teksty analizujące m.in. relację trener–jeździec w sportach konnych jako czynnik wpływający na efektywność szkolenia, międzysesyjną rzetelność wskaźników asymetrii w skoku CMJ u młodych siatkarek czy związki między siłą mięśni oddechowych a sprawnością fizyczną zawodniczek. Ważne miejsce zajmują również doniesienia porównujące skuteczność treningu mięśni wdechowych u wspinaczy wysokogórskich oraz interwencji z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości w optymalizowaniu czasu reakcji i pola widzenia. Interesujący aspekt poruszyli autorzy pracy dotyczącej roli nowoczesnych technologii i aplikacji mobilnych, takich jak narzędzia do monitorowania parametrów ruchu czy dokładności odtwarzania submaksymalnych prędkości biegu w kontekście funkcji nerwowo-mięśniowej. Uzupełnieniem rozdziału jest refleksja nad budowaniem

marki osobistej zawodniczek w mediach społecznościowych, co ukazuje sport jako przestrzeń, w której przenikają się biologia, psychologia i komunikacja cyfrowa.

W drugiej części, dotyczącej rehabilitacji, zaakcentowano znaczenie kompleksowego podejścia do przywracania i utrzymywania sprawności funkcjonalnej w różnych grupach – od zawodowych muzyków, przez osoby starsze, po pacjentów po udarze mózgu. Tematem pogłębionych analiz stały się tu zagadnienia związane m.in. z zastosowaniem masażu tense-gracyjnego, sprawnością manualną seniorów oraz jakością życia słuchaczy uniwersytetu trzeciego wieku w kontekście aktywności fizycznej. Na uwagę zasługują badania z wykorzystaniem zaawansowanych technologii diagnostycznych i terapeutycznych, takich jak Y Balance Test służący do oceny niestabilności stawu skokowego, test 5xSTS pozwalający ocenić siłę i wytrzymałość kończyn dolnych czy wspomagane technologicznie urządzenia stosowane w terapii poudarowej. Przedstawione prace wskazują na rosnącą potrzebę łączenia badań diagnostycznych z uwzględnieniem psychofizycznych aspektów powrotu do sprawności, takich jak motywacja, poczucie sprawczości i jakość życia.

Trzecia część, obejmująca tematykę z różnych dziedzin, porusza szerokie spektrum zagadnień potwierdzających interdyscyplinarny charakter nauk o kulturze fizycznej. Zamieszczone tu prace są m.in. efektem badań nad motywacją do zachowań zdrowotnych, błędnymi reakcjami w Teście Determinacji w kontekście wyników strzeleckich oraz skutecznością treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności w środowisku wojskowym. Na uwagę zasługują również opracowania z zakresu inżynierii biomedycznej i medycyny spersonalizowanej, w tym doniesienia dotyczące biodruku 3D w onkologii, hybrydowych metod detekcji arytmii w zapisie EKG oraz badania dotyczące alergii na metale. Obecność analiz poświęconych roli mediów społecznościowych, turystyki czy edukacji w zakresie sztucznej inteligencji w fizjoterapii potwierdza założenia, że zdrowie i aktywność fizyczna są osadzone w szerokim kontekście społecznym, technologicznym i kulturowym.

Monografia wskazuje miejsce współczesnych nauk o kulturze fizycznej, które rozwijają się na pograniczu biologii, medycyny, nauk społecznych i technologii. Wspólnym mianownikiem przedstawionych opracowań jest dążenie do lepszego zrozumienia mechanizmów adaptacji organizmu do

wysiłku, procesów regeneracji i kompensacji, a także czynników motywacyjnych i środowiskowych determinujących aktywność człowieka. Holistyczne podejście badawcze, łączące analizę parametrów fizjologicznych z refleksją nad kontekstem psychospołecznym, stanowi fundament skutecznych interwencji w sporcie i rehabilitacji. Mamy nadzieję, że prezentowana publikacja stanie się nie tylko przeglądem aktualnych kierunków badań młodych naukowców, lecz także inspiracją do dalszych, pogłębiomych analiz oraz współpracy międzydyscyplinarnej. Człowiek w ruchu, w zdrowiu i w procesie powrotu do sprawności pozostaje centralnym punktem odniesienia dla rozwoju nauk o kulturze fizycznej w dynamicznie zmieniającym się świecie.

prof. dr hab. Małgorzata Słowińska-Lisowska
prof. dr hab. Jarosław Domaradzki
dr Kamil Michalik

I
NAUKI O SPORCIE

NIKOLA CHOKOSZEWSKA

Wydział Nauk o Wychowaniu, Uniwersytet Łódzki
Studenckie Koło Naukowe „Fizycznie Kulturalni”

PRAKTYCZNE ASPEKTY RELACJI TRENER-JEŹDZIEC NA PRZYKŁADZIE SPORTÓW KONNYCH

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było określenie, w jaki sposób osoby trenujące jeździectwo oceniają relację z trenerem w kontekście poziomu zadowolenia, motywów podjęcia współpracy oraz postrzegania trenera jako wzoru do naśladowania. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 30 jeźdźców (25 kobiet i 5 mężczyzn) w wieku między 13 a 38 rokiem życia. **Metody.** Badania przeprowadzono za pomocą sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem kwestionariusza ankiety własnego autorstwa. **Wyniki.** Najczęstszymi powodami podjęcia współpracy z trenerem była dostępność szkoleniowca w danym miejscu oraz sympatia do niego. Ponad połowa badanych (aż 70%) przyznała, że jest bardzo zadowolona ze swojej relacji z trenerem. **Wnioski.** Jeźdźcy, wybierając trenera, coraz częściej przywiązują wagę do jego kompetencji i stylu bycia, kierują się też osobistą sympatią. Większość badanych jeźdźców postrzegała swojego trenera jako wzór godny do naśladowania zarówno w sporcie, jak i w życiu codziennym. Osoby zadowolone z relacji z trenerem zdecydowanie częściej przyznawały, że jest on wzorem do naśladowania.

Słowa kluczowe: jazda konna, sport, rekreacja, trening, współpraca

WPROWADZENIE

Jazda konna jest aktywnością podejmowaną w czasie wolnym przez osoby w różnym wieku. Jej uprawianie stanowi źródło przyjemności i rozrywki, może też przyczyniać się do zwiększania poziomu samorealizacji i wzmacniania poczucia własnej wartości (Mazur-Rylska i Ambroży, 2013). Jeździectwo oddziałuje na człowieka, obejmując swym wpływem psychiczną, fizyczną i społeczną sferę jego życia (Omelan i Kozłowska, 2017). Może także dostarczać wielu doznań estetycznych ze względu na szczególną dbałość o wysoki poziom elegancji, której przejawem są m.in. tradycyjne stroje i reguły rywalizacji sportu jeździeckiego (Mickunas, 2004).

Jeździectwo jako dyscyplina sportowa

Jeździectwo jest także jedną z dyscyplin sportowych. W jego skład wchodzi kilka różnych konkurencji. Polski Związek Jeździecki (PZJ) wyróżnia ich aż 7. Każda z nich ma odrębne regulaminy i jest oznaczona odpowied-

nią literą. Wśród konkurencji honorowanych przez PZJ wyróżnia się: ujeżdżenie – A, skoki przez przeszkody – B, Wszechstronny Konkurs Konia Wierzchowego (WKKW) – C, powożenie – D, woltyżerkę – E, sportowe rajdy konne – F oraz parażdziectwo – PA (Polski Związek Jeździecki, 2026).

Zgodnie z przepisami PZJ „celem ujeżdżenia jest uczynienie z konia zadowolonego sportowca poprzez harmonijne wyszkolenie” (*Przepisy Konkurencji A...*, 2023, s. 9). Trening ujeżdżeniowy nie jest zatem próbą egzekwowania od konia różnego rodzaju sztuczek. Polega przede wszystkim na rozwijaniu zdolności fizycznych i psychicznych nie tylko konia, ale również osoby, która go dosiada. Wszystko po to, aby osiągnąć wspomnianą harmonię między parą koń–jeździec (Ziegner, 2015, s. 8). Zdaniem Radtkego (2010, s. 36): „Ujeżdżenie to stopniowa i rozsądna praca nad rozwojem i wygimnastykowaniem konia, oparta na podstawach naukowych i mająca na celu dobro konia. Dobrze wyszkolony koń jest w stanie sprostać postawionym mu wymaganiom bez zagrożenia zdrowia”. Konkurencję ujeżdżenia charakteryzuje precyzja i elegancja. Koń na zawodach powinien umieć z ufnością do jeźdźcy i skupieniem wykonywać zadania na placu konkursowym (czworoboku). Przejazdy konkursowe są oceniane przez 3 sędziów, którzy za poszczególne elementy przejazdu przyznają punkty w skali od 0 do 10. Sędzia ocenia również ogólne wrażenie obejmujące regularność i swobodę ruchów, dążenie do ruchu naprzód, łatwość ruchu i uległość konia oraz dosiad jeźdźcy i poprawność użycia pomocy jeździeckich, do których zalicza się działanie łydek, wodzy oraz dosiadu (Warpechowska i Kotowski, 1987).

Skoki przez przeszkody są uznawane za najbardziej popularną konkurencję jeździectwa, a to za sprawą dynamiki i nieprzewidywalności wyniku oraz prostych w interpretacji reguł (Bojarczuk, 2016). Konkurencja polega na pokonaniu określonej kombinacji przeszkód w normie czasu. Zawody w skokach przez przeszkody sprawdzają nie tylko umiejętności jeźdźcy, ale także poziom wyszkolenia konia oraz jego wytrzymałość i posłuszeństwo. Zgodnie z przepisami PZJ „jeżeli zawodnik popełnia błędy, takie jak: strącenie przeszkody, odmowa skoku, przekroczenie normy czasu itp. – otrzymuje punkty karne” (*Przepisy Konkurencji B...*, 2025, s. 8). Jak wspomniano w jednym z podręczników do jazdy konnej: „naczelnym celem jest harmonia wykonania całego zadania”, która przejawia się m.in.: płynnością i regularnością galopu, balansem, lekkością i elastycznością ruchu oraz dokładnością (*Zasady jazdy konnej*, 2004, s. 106).

Wszechstronny Konkurs Konia Wierzchowego (WKKW) jest nazywany koroną jeździectwa i stanowi połączenie 3 konkurencji – ujeżdżenia, próby

terenowej (crossu) oraz skoków przez przeszkody. Zawody trwają zazwyczaj 2 lub 3 dni. Próby ujeżdżenia oraz skoków przez przeszkody są rozgrywane tak jak konkursy w tych konkurencjach. Cross polega na biegu terenowym urozmaiconym różnymi przeszkodami stałymi. O zwycięstwie decyduje liczba uzyskanych w ciągu całych zawodów punktów karnych. Za wygraną uznaje się parę, która zdobędzie ich najmniej (Bojarczuk, 2016). Jak wspomina Pruchniewicz (2003, s. 273), zawody w WKKW „mają na celu sprawdzenie u zawodnika znajomości klasycznych dyscyplin jeździectwa, a u konia wykazanie wysokiego stopnia wszechstronności, wynikającej z racjonalnego i przemyślanego treningu”.

Za bardzo widowiskową i elegancką konkurencję uznaje się powożenie, podczas którego sprawdza się wytrzymałość, dzielność, temperament oraz charakter koni. Powożenie, poza wymiarem sportowym, stanowi kontynuację bogatej tradycji jako istotnego elementu kultury narodowej (Pruchniewicz, 2003). Zawody odbywają się w kilku kategoriach: zaprzęgi czterokonne, parokonne, jednokonne i tandemy (Bojarczuk, 2016).

Woltyżerka jest połączeniem gimnastyki i jeździectwa. Polega na „wykonywaniu ćwiczeń gimnastyczno-akrobatycznych w harmonii z ruchem galopującego lub stępującego konia” (Bojarczuk, 2016, s. 179). Wadowski i Wadowski (1984, s. 93) uważają woltyżerkę za: „sport pokrewny jeździectwu, przygotowujący dzieci i młodzież do sportowej jazdy wyczynowej”.

Inną formą sportu jeździeckiego są sportowe rajdy konne, które weryfikują szybkość i wytrzymałość konia. O sukcesie na zawodach decydują umiejętności jeźdźcy objawiające się wyczuciem tempa oraz sprawnym i bezpiecznym prowadzeniem konia w terenie (*Przepisy Konkurencji F...*, 2025). Polski Związek Jeździecki określa rajdy jako „test umiejętności jeździeckich w bezpiecznym wykorzystaniu możliwości i wydolności konia podczas rajdu, w zmaganiach z trasą, dystansem, klimatem, terenem i czasem” (*Przepisy Konkurencji F...*, 2025, s. 8).

Jazdę konną mogą uprawiać także osoby z niepełnosprawnościami. Parajeździectwo pozwala im rywalizować podczas zawodów na równi z osobami pełnosprawnymi (Sobuś i Łagan, 2010, s. 176). Podstawową zaletą parajeździectwa są jego walory terapeutyczne oraz fakt, że wyrabia ono nawyk i potrzebę aktywnego wypoczynku (Sobuś i Łagan, 2010).

Na jeździectwo składa się wiele różnorodnych konkurencji, które wymagają szerokiego wachlarza kompetencji zarówno od konia, jak i jeźdźcy. Niezwykle istotną rolę w procesie szkolenia odgrywa trener. W sportach konnych często bywa tak, że jeden trener szkoli jeźdźców zajmujących się różnymi konkurencjami, co wymaga od niego ogromnej wszechstronności.

Trener poza prowadzeniem szkolenia sportowego może również pełnić rolę wychowawcy i autorytetu (Kowalska i Paczkowska, 2025). Jak wspomina Kurzawski (2008, s. 95), „dobrzy szkoleniowcy, to osoby posiadające odpowiednie predyspozycje i uzdolnienia oraz wiedzę i umiejętności”. Mówiąc o pożądanych cechach trenera, należy wyróżnić m.in.: „zorientowanie na sukces, wysokie kompetencje, wzbudzanie zaufania, wykazywanie się inicjatywą, zdolność inspirowania innych, determinację, dążenie do celu, zdolność obiektywnej oceny, odpowiedzialność, pewność siebie, inteligencję, zdolność wybiegania w przyszłość” (Kurzawski, 2008, s. 97).

Kostencka i Lewandowska (2015) odnotowały, że zdaniem zawodników uprawiających różne dyscypliny sportu trener często pozytywnie oddziałuje na rozwój osobowy sportowców. Badani przez autorki respondenci trenowali lekkoatletykę, siatkówkę, piłkę nożną, koszykówkę, pływanie, wioślarstwo, kajakarstwo, sporty walki, jeździectwo, tenis ziemny i stołowy, kolarstwo, taniec i szermierkę. Większość kobiet, bo aż 77,97%, zauważała pozytywny wpływ trenera na to, jakimi są osobami. U mężczyzn odsetek ten wyniósł 64,71%. Spora część kobiet (74,58%) uznała też, że trener wpłynął na poprawę ich zachowania. Mężczyzn dostrzegających taką zależność było 66,67%.

Zdaniem Lasska (2022), który przeprowadził badania wśród zawodników pływania, relacja trener–zawodnik powinna wykraczać poza obszar sportowy. Jak wspomina autor (s. 111–122): „Zawodnicy potrzebują zrozumienia i rozmowy. Trudy treningu pływackiego oraz nagromadzające się zmęczenie pływaków po dwóch treningach dziennie wskazują, iż trener może być osobą wspierającą przy rozwiązywaniu prywatnych spraw i wytyczaniu moralnej drogi”.

Coraz większe zainteresowanie badaczy relacją trenera i sportowca doprowadziło do utworzenia narzędzi pomiarowych pozwalających ocenić to powiązanie. Takim narzędziem jest jeden z kwestionariuszy do badania relacji trener–zawodnik (ang. *The Coach Athlete Relationship Questionnaire*, CART-Q) oraz jego polska adaptacja (PICART-Q) zaproponowana przez Michalak i Poczwardowskiego (2015).

W środowisku jeździeckim panuje przekonanie, że trener powinien przede wszystkim charakteryzować się wysokimi umiejętnościami jeździeckimi, zaś nauczanie jazdy konnej określa się jako zadanie trudne, odpowiedzialne i wyczerpujące. Z tego powodu szkolenia adeptów jeździectwa powinny podejmować się wyłącznie osoby inteligentne, sprawne fizycznie i zrównoważone psychicznie (Skulicz, 1992). Trener powinien być

grzeczny i stanowczy wobec swoich uczniów (Wadowski i Wadowski, 1984). Do kompetencji, jakie powinien nabyć, zalicza się m.in. fachową wiedzę jeździecką, umiejętność rozumienia innych, znajomość ludzkich stylów uczenia się, znajomość poziomów wyszkolenia koni i jeźdźców oraz znajomość technik i taktyk służących doskonaleniu umiejętności uczniów (Auty, 2013).

CEL BADAŃ

Celem badań było zdobycie wiedzy na temat sposobu, w jaki osoby trenujące jeździectwo oceniają relację z trenerem w kontekście poziomu zadowolenia, motywów podjęcia współpracy oraz postrzegania trenera jako wzoru do naśladowania. Przedstawione wyniki stanowią fragment badań przeprowadzonych na potrzeby niepublikowanej pracy magisterskiej autorki. Sformułowano następujące pytania badawcze:

1. Jakie czynniki skłaniają jeźdźców do podjęcia współpracy z danym trenerem?
2. Jaki jest poziom zadowolenia jeźdźców z relacji trener–jeździec?
3. W jakich dziedzinach życia, zdaniem jeźdźców, trener może być postrzegany jako wzór do naśladowania?

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

Badaniami objęto 30 osób jeżdżących konno, w tym 25 kobiet (83,33%) i 5 mężczyzn (16,67%), w wieku 13–38 lat (średnia 19,5 roku, dominowały osoby w wieku 23 lat). Najwięcej, bo 43,33% ankietowanych, uzyskało wykształcenie średnie, około jednej trzeciej (36,67%) miało wykształcenie podstawowe, a 20% zadeklarowało ukończenie studiów wyższych. Badania przeprowadzono w styczniu 2026 r.

Metody

Zastosowano metodę sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem techniki ankiety. Autorski kwestionariusz ankiety składał się z 40 pytań o charakterze zamkniętym, półotwartym i otwartym. Były to pytania zarówno jednokrotnego, jak i wielokrotnego wyboru. Respondenci mieli możliwość wyrażenia swoich opinii na tematy związane z treningiem jeździeckim oraz osobą trenera w tej dyscyplinie sportu.

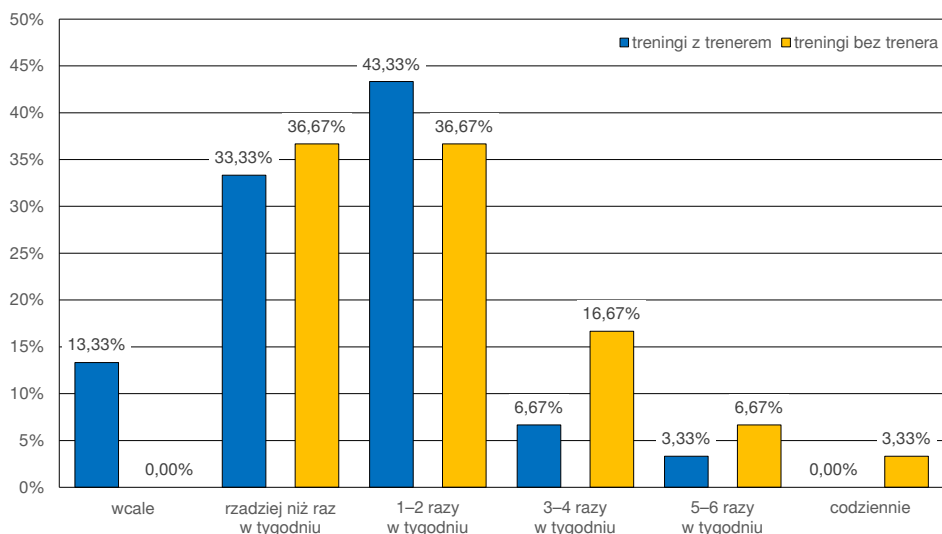
WYNIKI

Badani zostali poproszeni o ocenę poziomu swoich umiejętności jeździeckich w odniesieniu do systemu odznak jeździeckich honorowanych przez PZJ. Mniej więcej jedna czwarta (23,33%) odpowiedziała, że zdobyła umiejętności na poziomie odznaki „Jeźdź Konno” (poziom początkujący). Najwięcej osób (36,67%) deklaroowało umiejętności na poziomie Brązowej Odznaki Jeździeckiej, 30% wskazało poziom Srebrnej Odznaki Jeździeckiej, a 10% poziom Złotej Odznaki Jeździeckiej. Zaledwie 20% badanych przyznało, że bierze udział w zawodach jeździeckich: systematycznie, czyli kilka razy w miesiącu – 6,67%, sporadycznie, czyli kilka razy do roku – 13,33%. Pozostałe 80% nie uczestniczyło w rywalizacji sportowej.

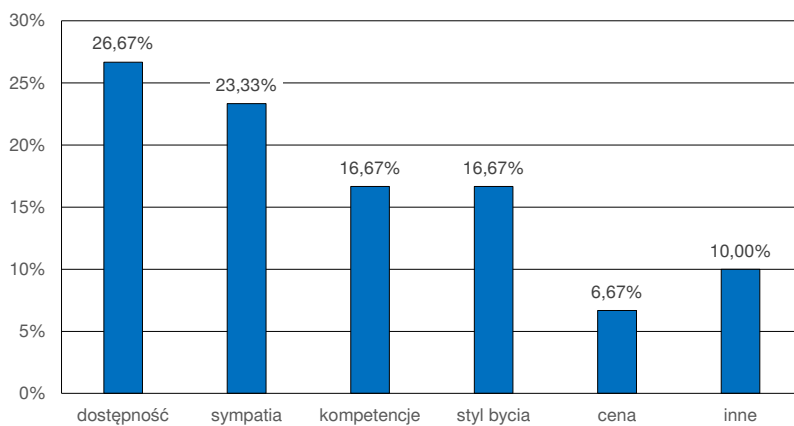
Jedna piąta badanych (20%) przyznała, że posiada własnego konia, a 6,67% wskazało, że odbywa treningi na koniu dzierżawionym od innej osoby. Pozostali (73,33%) odpowiedzieli, że jeżdżą na koniach udostępnianych przez ośrodek jeździecki lub trenera.

Na podstawie analizy odpowiedzi dotyczących częstotliwości treningów wykazano, że najwięcej badanych jeździła konno 1–2 razy w tygodniu lub rzadziej niż raz w tygodniu (po 36,67%), co najprawdopodobniej wynikało z przewagi osób uprawiających jeździectwo rekreacyjnie. Do systematycznych treningów 3–4 razy w tygodniu przyznało się 16,67% respondentów, a do 5–6 razy w tygodniu – 6,67%. Codziennie jeździło zaledwie 3,33%. Jeśli chodzi o treningi prowadzone przez szkoleniowca, to najwięcej osób (43,33%) deklaroowało, że w takiej formie zajęć uczestniczy 1–2 razy w tygodniu. Rzadziej niż raz w tygodniu ćwiczyło z trenerem 33,33% badanych. Co ciekawe, 13,33% osób zaznaczyło, że w ogóle nie korzysta z usług trenera, a 10%, że jeździ z trenerem częściej niż 3 razy w tygodniu (3–4 razy w tygodniu – 6,67%, 5–6 razy w tygodniu – 3,33%). Udział badanych w treningach przedstawiono na rycinie 1.

Badani jeźdźcy zostali zapytani o ich relacje z aktualnym szkoleniowcem lub trenerem, z którym ćwiczyli w ostatnim czasie. Jedno z pytań dotyczyło powodów skorzystania z usług danego trenera. Najczęściej wskazywaną odpowiedzią (26,67%) była „dostępność trenera w danym miejscu” (ryc. 2). Około jednej piątej respondentów (23,33%) za czynnik skłaniający do podjęcia współpracy z danym trenerem uznało sympatię, jaką on wzbudza. Kompetencje lub styl życia trenera okazały się ważne dla odpowiednio 16,67% jeźdźców. Ceną za zajęcia kierowało się 6,67% ankietowanych, a inne czynniki zaznaczyło 10%.



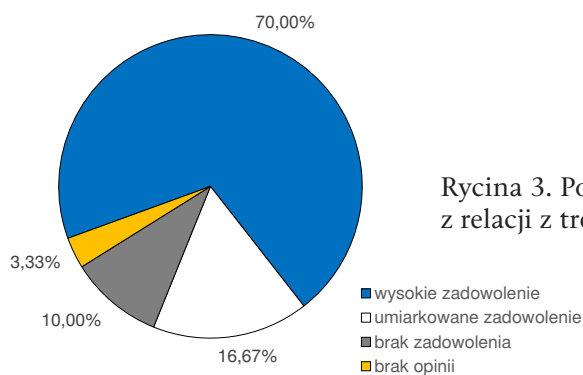
Rycina 1. Udział badanych w treningach z trenerem i bez trenera w ciągu tygodnia ($n = 30$)



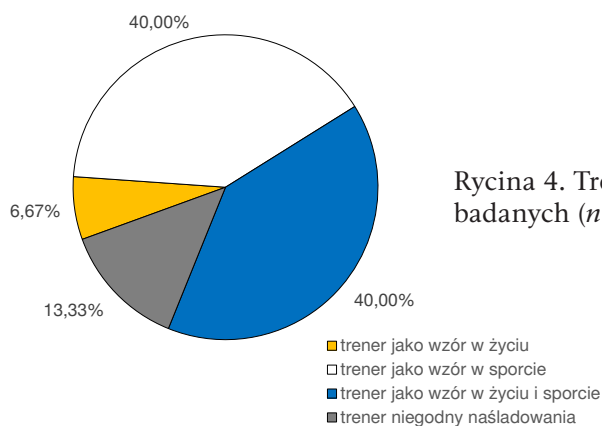
Rycina 2. Czynniki skłaniające badanych do podjęcia współpracy z danym trenerem ($n = 30$)

Istotnym zagadnieniem badań był poziom zadowolenia jeźdźców z relacji trener-zawodnik. Respondenci w większości (70%) uznali, że są z niej bardzo zadowoleni, 16,67% wskazało na umiarkowane zadowolenie, a 10% przyznało się do braku zadowolenia (ryc. 3). Pozostałe 3,33% badanych nie umiało określić swojego poziomu zadowolenia.

Analizie poddano również sposób, w jaki badani jeźdźcy postrzegają swojego trenera w kontekście wzoru postępowania (ryc. 4). Dla 13,33% respondentów ich trener w ogóle nie stanowił wzoru, 40% określiło, że



Rycina 3. Poziom zadowolenia badanych z relacji z trenerem ($n = 30$)



Rycina 4. Trener jako wzór w opinii badanych ($n = 30$)

można go naśladować zarówno w sporcie, jak i w życiu codziennym, 40% dostrzegą w nim osobę godną naśladowania w aspekcie sportowym, a 6,67% uznało go za wzór wyłącznie w życiu codziennym.

Porównując poziom zadowolenia jeźdźców z relacji z trenerem i postrzeganie trenera jako wzoru godnego naśladowania, można było odnotować pewne zależności. Aż 96,15% badanych, którzy byli zadowoleni z relacji ze swoim trenerem, uznawało go za autorytet w co najmniej jednej z analizowanych sfer życia (ryc. 4). Jedynie 3,85% respondentów zadowolonych z relacji trener–jeździec nie widziało w swoim szkoleniowcu osoby godnej naśladowania. Dla 75% badanych, dla których relacja z trenerem nie była źródłem satysfakcji, nie stanowił on wzoru ani w sporcie, ani w życiu codziennym. Mimo niezadowolenia z relacji ze swoim trenerem 25% osób zaznaczyło, że uważa go za wzór, ale tylko w życiu codziennym.

DYSKUSJA

Dotychczasowe badania odnoszące się do sportów konnych nie podejmują problematyki związanej z osobowością trenera i relacją trener-jeździec, pozostawiając tym samym lukę badawczą do uzupełnienia dla naukowców pragnących pogłębić omawiane zagadnienia.

Przedstawione we wprowadzeniu wyniki badań Kostenckiej i Lewandowskiej (2015) wskazują na istotny wpływ trenera na rozwój osobowości zawodnika. Zdaniem sportowców reprezentujących różne dyscypliny sportu oddziaływanie to często przybiera wymiar pozytywny. Ważne okazuje się spostrzeżenie, że trener jest w stanie kształtować zachowania swoich podopiecznych, a co za tym idzie – może przyczyniać się do rozwijania u nich pożądaných etycznie i społecznie postaw zarówno w sporcie, jak i poza nim, czyniąc zawodnika dobrym człowiekiem i sportowcem.

Lassek (2022) wskazuje, jak ważne jest wykraczanie relacji trenera i zawodnika poza obszar treningu sportowego. Trener może, a według niektórych zawodników nawet powinien, być wsparciem również w codziennym życiu. Możliwe, że powinien pełnić także rolę przyjaciela i mentora, który wspiera i pomaga ukierunkować sportowca na właściwy sposób postępowania. Potwierdza się tu opinia Kowalskiej i Paczkowskiej (2025) odnośnie do funkcjonowania trenera jako wychowawcy i odgrywania przez niego roli autorytetu.

Badania własne pozwoliły potwierdzić, że trener to nie tylko osoba, która naucza umiejętności ruchowych specyficznych dla danej dyscypliny sportu. Wielu spośród badanych jeźdźców dostrzegło w swoim trenerze wzór godny naśladowania również w życiu. Takie podejście do szkoleniowca może w przyszłości prowadzić do pozytywnych zmian w postępowaniu respondentów. Już same deklaracje o dostrzeganiu w drugiej osobie pozytywnych cech i zachowań oraz uznawanie ich za warte naśladowania świadczy o refleksyjnym podejściu badanej grupy do osobowości trenera.

Niezwykle wartościowe w kontekście badań własnych jest spostrzeżenie Omelan i Kozłowskiej (2018), że jazda konna oddziałuje na psychikę człowieka. Również Ziegner (2015) podkreśla rozwojowy wymiar jednej z konkurencji jeździeckich w odniesieniu do osobowości zawodnika. Autor wskazuje, że szkolenie ujeżdżeniowe poza doskonaleniem zdolności ruchowych ma na celu również rozwijanie zdolności psychicznych. Biorąc pod uwagę założenia Kostenckiej i Lewandowskiej (2015), Lasska (2022) oraz Kowalskiej i Paczkowskiej (2025) dotyczące odpowiedzialności tre-

nera, a także wyniki badań własnych, z których wynika, że prawie połowa jeźdźców dostrzegała w swoim trenerze wzór do naśladowania w życiu codziennym, można przypuszczać, że nie tylko sama aktywność, jaką jest jazda konna, ale również trener może mieć wpływ na rozwój osobowości osób uprawiających tę dyscyplinę sportu.

Zdaniem Skulicza (1992) instruktor jeździectwa musi być zrównoważony psychicznie. To spostrzeżenie wydaje się dość oczywiste ze względu na specyfikę pracy, w której głównym celem jest przekazanie wiedzy i nauczenie specyficznych umiejętności ruchowych, ale również kontakt z żywym i z natury płochliwym zwierzęciem. Opanowanie i zrównoważenie trenera pozwala na prawidłowy przebieg współpracy jeźdźcy z trenerem. Dawanie jasnych wskazówek do wykonania konkretnych zadań, spokojne wyjaśnianie popełnionych błędów, unikanie pretensjonalnego tonu głosu podczas treningów może znacząco ułatwić osiągnięcie satysfakcji z treningów. Niestety, zdarza się, że trenerami czy instruktorami jeździectwa zostają osoby, które nie wykazują swoją postawą wspomnianego przez Skulicza (1992) zrównoważenia psychicznego. Na zajęciach jeździeckich często można spotkać się z nadmiernymi reakcjami emocjonalnymi ze strony trenera, takimi jak: podnoszenie głosu na jeźdźców, złośliwość, obwinianie za złe wykonanie zadania przy jednoczesnym braku podania konkretnych wskazówek do jego wykonania, a czasem nawet przemoc wobec koni. Być może to właśnie takie zachowania warunkują niezadowolone jeźdźców z relacji z trenerem, które przekłada się na niemożność postrzegania go jako wzoru do naśladowania.

Podsumowując, trener jest niezwykle ważną osobą w kontekście szkolenia sportowego, ale również kreowania pożądanych u zawodników postaw życiowych. Z tego względu kluczowe wydaje się też ustalenie hierarchii wartości, jakie uznaje szkoleniowiec, gdyż może ona stać się obszarem do naśladowania przez adeptów sportu.

OGRANICZENIA

W przebiegu badań pilotażowych nie dostrzeżono problemów z gromadzeniem materiału badawczego. Podejmując jednak próbę pozyskania danych od większej liczby respondentów, warto zwiększyć liczebność jeźdźców biorących udział w rywalizacji sportowej, tak aby zminimalizować dysproporcję między badanymi grupami i tym samym zwiększyć reprezentatywność próby.

WNIOSKI

1. Jeźdźcy, wybierając odpowiedniego dla siebie trenera, najczęściej kierowali się jego dostępnością w danym miejscu, ale często też przywiązywali wagę do faktycznych kompetencji szkoleniowca, jego stylu bycia i sympatii, jaką wzbudza.
2. Większość badanych jeźdźców przyznała, że trenuje pod okiem osoby postrzeganej jako wzór godny naśladowania zarówno w sporcie, jak i w życiu. Napawa to optymizmem, ponieważ trener ma szansę kształtować u jeźdźców pożądane zachowania. Kierując się odpowiednim systemem wartości, może wspierać w nich pozytywne postawy życiowe i sportowe.
3. Osoby zadowolone z relacji trener-jeździec zdecydowanie częściej uznawały trenera za wzór do naśladowania.

BIBLIOGRAFIA

- Auty, I. (2013). *Coaching w jeździectwie*. Warszawa: Akademia Jeździecka.
- Bojarczuk, J. (2016). *Atlas jeździectwa. Konie. Technika jazdy. Porady*. Warszawa: SBM.
- Kostencka, A., Lewandowska, E. (2015) Wpływ trenera na rozwój osobowy zawodnika. [W:] H. Żukowska, A. Kostencka, M. Klimczyk, K. Buśko, R. Muszkieta (red.), *Osoba – sport, wychowanie, zdrowie* (ss. 8–27). Bydgoszcz: UKW.
- Kowalska, J.E., Paczkowska, W. (2025). Wychowawcza rola trenera w kobiecej piłce nożnej w opinii szkoleniowców. [W:] B. Pędraszewska (red.), *Oblicza sportu kobiecego* (ss. 125–133). Studia i Monografie AWF w Warszawie, 186.
- Kurzwaski, K. (2008). Profesjonalny trener. *Strzelectwo sportowe. Nowoczesne rozwiązania szkoleniowe*, 5, 95–99.
- Lassek, B. (2022). Pozasportowy wymiar pracy trenera pływania z potencjalnym olimpijczykiem. [W:] J.E. Kowalska, A. Makarczuk, A. Maszorek-Szymala, A. Kaźmierczak (red.), *Współczesne problemy kultury fizycznej i zdrowotnej* (ss. 111–122). Łódź: UŁ, <https://doi.org/10.18778/8220-945-7.08>.
- Mazur-Rylska, A., Ambroży, T. (2013). *Rekreacyjna jazda konna jako forma wspomagająca rozwój psychomotoryczny młodzieży*. Kraków: European Association for Security.
- Michalak, A., Poczwardowski, A. (2015). Kwestionariusz do badania relacji trener-zawodnik (CART-Q): polska adaptacja (PICART-Q). *Testy Psychologiczne w Praktyce i Badaniach*, 1, 62–75.
- Mickunas, W. (2004). *Trener radzi*. Łódź: Galaktyka.
- Omelan, A.A., Kozłowska, N. (2017). Rekreacja konna – motywy uczestnictwa i wpływ na życie jeźdźców. *Roczniki Naukowe WSWFiT w Białymstoku*, 3(21), 52–62.
- Polski Związek Jeździecki. *Konkurencje jeździeckie*. Pobrano 04.02.2026 z: <https://pzj.pl/sport/konkurencje-jezdzieckie/>

- Pruchniewicz, W. (2003). *Akademia Jeździecka. Część 1*. Warszawa: Chaber PR – Akademia Jeździecka.
- Przepisy Konkurencji A. Ujeżdżenie* (2023). PZJ. Pobrano 04.02.2026 z: https://pzj.pl/wp-content/uploads/2025/01/A_Przepisy_2023_clean_20230515.pdf.
- Przepisy Konkurencji B. Skoki przez przeszkody* (2025). PZJ. Pobrano 04.02.2026 z: https://pzj.pl/wp-content/uploads/2025/02/B_Przepisy_wydanie_12_2025_clean_20250129.pdf.
- Przepisy Konkurencji F. Sportowe rajdy konne* (2025). PZJ. Pobrano 04.02.2026 z: https://pzj.pl/wp-content/uploads/2025/02/F_Przepisy_2025_clean_20250204.pdf.
- Radtko, S.M. (2010). *Ujeżdżenie. Klasyczna sztuka jeździecka*. Łódź: Galaktyka.
- Skulicz, B. (1992). *Ujeżdżenie i skoki*. Warszawa: WN PWN.
- Sobuś M., Łagan, S. (2010). Hipoterapia jako naturalna forma rehabilitacji. *Aktualne Problemy Biomechaniki*, 4, 173–178.
- Wadowski, S., Wadowski, A. (1984). *Podstawy jazdy konnej dla studentów akademii rolniczych*. Olsztyn: ART.
- Warpechowska, E., Kotowski, J.M. (1987). *ABC jeździectwa*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- Zasady jazdy konnej. Część 2: Specjalistyczne wyszkolenie jeźdźcy i konia* (2004). Praca zbiorowa. Warszawa: PZJ.
- Ziegner, von., K.A. (2015). *Ujeżdżenie. Fundament jeździectwa. Koncepcja drzewa treningowego*. Łódź: Galaktyka.

ABSTRACT

Practical aspects of the coach–rider relationship in equestrian sports

Introduction. This study was designed to investigate how equestrian athletes assess their relationship with their coach in terms of satisfaction, reasons for engaging in the coaching relationship and the extent to which the coach is perceived as a role model. **Material.** A total of 30 riders (25 female and 5 male), aged between 13 and 38 years, participated in the study. **Methods.** The study was conducted in January 2026 using a diagnostic survey method with a self-developed questionnaire. **Results.** The primary reasons for engaging in a coaching relationship were the coach's local availability and a positive personal rapport. Over half of the participants (70%) reported being highly satisfied with their relationship with their coach. **Conclusions.** In choosing a coach, riders place increasing emphasis on professional competence and personal style, as well as on personal rapport. The majority of participants perceived their coach as a role model, both in sport and in everyday life. Those who reported satisfaction with the coach-rider relationship were considerably more likely to view the coach as a role model.

Keywords: equestrianism, sport, recreation, training, cooperation

EMILIA FELDMAN¹, KRYSTYNA ROŻEK-PIECHURA²,
PAULINA OKRZYMOWSKA²

¹ Polski Związek Kajakowy, Zespół Parakajakarstwa

² Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków
we Wrocławiu

WPŁYW TRENINGU MIĘŚNI WDECHOWYCH NA WENTYLACJĘ PŁUC I FUNKCJĘ MIĘŚNI ODDECHOWYCH U OSÓB UPRAWIAJĄCYCH WSPINACZKĘ WYSOKOGÓRSKĄ

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena wpływu 8-tygodniowego treningu mięśni wdechowych na wentylację płuc oraz funkcję mięśni oddechowych u wspinaczy wysokogórskich. **Materiał.** Badaniami objęto 20 osób w wieku 21–33 lat uprawiających wspinaczkę wysokogórską. **Metody.** Wykonano pomiary antropometryczne i obliczono BMI. Wydolność oceniono testem PWC170 na cykloergometrze z progresją obciążenia. Dwukrotnie przed treningiem i po treningu przeprowadzono badania spirometryczne (natężona pojemność życiowa płuc, FVC; natężona objętość wydechu pierwszosekundowa, FEV₁; szczytowy przepływ wydechowy, PEF; maksymalny przepływ wydechowy dla 50% FVC, MEF₅₀) oraz ocenę siły mięśni oddechowych (PI_{max}, PE_{max}). U 11 losowo wybranych wspinaczy zastosowano 8-tygodniowy trening mięśni wdechowych (ang. *inspiratory muscle training*, IMT) z obciążeniem 60% PI_{max} (Threshold® IMT), a u 9 pozorowany IMT ze stałym obciążeniem 15% PI_{max}. **Wyniki.** Trening mięśni wdechowych istotnie wpłynął na siłę mięśni oddechowych wspinaczy. Wykazano istotny efekt treningu w przypadku PI_{max} i PI_{max}% oraz istotną interakcję trening × grupa, co wskazuje na większą poprawę siły mięśni wdechowych w grupie eksperymentalnej. Stwierdzono istotny wpływ treningu na PE_{max}. Nie zaobserwowano natomiast istotnych zmian w zakresie parametrów spirometrycznych ani istotnej interakcji trening × grupa. **Wnioski.** Trening mięśni wdechowych poprawił funkcję i siłę mięśni oddechowych, nie powodując wyraźnych zmian w podstawowych parametrach wentylacyjnych płuc. Zaobserwowano wzrost siły mięśni wydechowych przy braku zależności siły mięśni wdechowych od cech somatycznych i wydolności fizycznej. Uzyskane dane wskazują na selektywny wpływ treningu mięśni wdechowych na funkcję mięśni oddechowych u sportowców.

Słowa kluczowe: hipoksja hipobaryczna, spirometria, maksymalne ciśnienie wydechowe, trening oddechowy

WPROWADZENIE

W warunkach dużych wysokości, takich jakie towarzyszą wspinaczkę wysokogórskiej, organizm poddawany jest hipoksji, która zwiększa wentylację minutową płuc i znacząco obciąża układ oddechowy, prowadząc do narastającego zmęczenia mięśni oddechowych. To z kolei może ogra-

niczać utrzymanie intensywności wysiłku i nasilać odczucie duszności charakterystyczne dla ekspozycji na wysokość. Trening mięśni oddechowych (ang. *inspiratory muscle training*, IMT), polegający na oddychaniu przeciwko oporowi, jest jedną z metod przygotowania sportowego pomagającą organizmowi w radzeniu sobie ze zwiększonym obciążeniem. Na podstawie badań prowadzonych w warunkach symulowanej wysokości wykazano, że ukierunkowany trening mięśni oddechowych poprawia czas do wyczerpania podczas wysiłku w hipoksji, co zmniejsza ich zmęczenie i poprawia utrzymanie właściwego poziomu wentylacji płuc w takich warunkach (Helfer i wsp., 2016). Choć bezpośrednio badania wśród wspinaczy wysokogórskich są nadal nieliczne, przegląd dostępnej literatury wskazuje, że IMT może wspierać adaptację układu oddechowego w hipoksji, co stanowi uzasadnienie do rozważenia tej interwencji jako elementu przygotowania wspinaczy, u których silniejsze i bardziej wytrzymałe mięśnie oddechowe zwiększają tolerancję wysiłku i zmniejszają negatywne skutki hipoksyiczne generowane podczas długotrwałych ekspedycji (Álvarez-Herms i wsp., 2019).

Wspinaczka wysokogórska wiąże się ze znacznym obciążeniem układu krążeniowo-oddechowego, dlatego odpowiednie przygotowanie oraz wysoki poziom sprawności tego układu stanowią ważny element procesu treningowego. W warunkach hipobarycznej hipoksji, charakterystycznej dla dużych wysokości, organizm zwiększa odpowiedź wentylacyjną, co prowadzi do zwiększenia wentylacji płuc i ułatwia utrzymanie wymiany gazowej w razie ograniczonej dostępności tlenu (Frost i wsp., 2024). Takie adaptacyjne mechanizmy wspierają transport tlenu i pomagają stabilizować rytm oddechowy podczas wysiłku fizycznego na wysokości, zmniejszając ryzyko niedotlenienia i poprawiając ogólną tolerancję wysiłku (Frost i wsp., 2024). Adaptacja do hipoksji obejmuje także inne reakcje układu krążenia i metabolizmu, które są przedmiotem intensywnych badań nad fizjologią przebywania na wysokościach (Mallet i wsp., 2023).

Siła mięśni oddechowych odgrywa istotną rolę w aktywności fizycznej wspinaczy wysokogórskich. Wzmocniona praca oddechowa zwiększa ryzyko zmęczenia mięśni oddechowych, co może ograniczać zdolności wytrzymałościowe podczas wysiłku i ogólną wydolność organizmu (Hess i Hostler, 2018; Puthon i wsp., 2016). Zagadnienie treningu siły mięśni oddechowych było przedmiotem zainteresowania wielu badaczy, którzy analizowali zmiany parametrów czynnościowych układu oddechowego zarówno u osób zdrowych, jak i pacjentów z różnymi schorzeniami (Beau-

mont i wsp., 2018; Cipriano i wsp., 2019; Vázquez-Gandullo i wsp., 2022). Po zastosowaniu treningu oddechowego obserwowano wzrost maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego, co skutkowało zmniejszeniem duszności, opóźnieniem wystąpienia zmęczenia podczas wysiłku fizycznego oraz poprawą efektywności wentylacji płuc (Illi i wsp., 2020). Wyniki te zostały potwierdzone w badaniach Ramsooka i wsp. (2017) przeprowadzonych w grupie zdrowych mężczyzn, u których po zastosowaniu treningu oddechowego wykazano istotny wzrost siły mięśni wdechowych oraz obniżenie poziomu duszności podczas intensywnego wysiłku fizycznego. Podobne rezultaty uzyskali Illi i wsp. (2020) w badaniach dotyczących osób wytrenowanych. Autorzy odnotowali, że trening mięśni wdechowych może przynieść poprawę wydolności wysiłkowej oraz opóźnić pojawienie się zmęczenia podczas wysiłków o wysokiej intensywności.

Wyprawa w wysokie góry jest długotrwałym wysiłkiem fizycznym o zróżnicowanym poziomie intensywności. W trakcie tego typu aktywności rozwijana jest zarówno wytrzymałość długotrwała, siła mięśniowa, jak i krótkotrwała moc maksymalna. Podejmowany regularnie wysiłek fizyczny może wpływać na różne adaptacje organizmu m.in. obejmujące zmiany czynnościowe w obrębie układu krążenia, modyfikacje morfologiczne mięśnia sercowego oraz przystosowanie metaboliczne w zakresie pracy serca i naczyń krwionośnych (Fiuza-Luces i wsp., 2018). Aktywność fizyczna zwiększa także wrażliwość mięśni na insulinę, usprawnia transport glukozy z krwi do tkanek mięśniowych, poprawia funkcjonowanie autonomicznego układu nerwowego oraz przyczynia się do zmniejszenia ryzyka rozwoju cukrzycy typu 2 (Małkowska, 2024).

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena wpływu 8-tygodniowego treningu mięśni wdechowych na wentylację płuc oraz funkcję mięśni oddechowych u wspinaczy wysokogórskich.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 20 osób uprawiających wspinaczkę w terenach górskich powyżej 3000 m n.p.m. Badaną grupę tworzyły kobiety i mężczyźni w wieku wczesnej dorosłości (21–33 lat). Większość stanowiły

osoby pracujące, pozostali uczestnicy projektu byli studentami. Wszyscy badani deklarowali podejmowanie regularnej aktywności fizycznej, obejmującej trening wspinaczkowy oraz dodatkowe formy ruchu, takie jak bieganie, kolarstwo czy squash. Czas przeznaczany na trening w ciągu tygodnia był zróżnicowany, podobnie jak staż wspinaczki wysokogórskiej oraz częstotliwość wyjazdów w teren wysokogórski.

Do badań włączono osoby, które ukończyły pełny protokół badawczy. Uczestników podzielono losowo na dwie grupy: grupę 1 – kontrolną (sham IMT) i grupę 2 – eksperymentalną (trenującą z pomocą urządzenia Threshold® IMT).

Metody

U wszystkich badanych dokonano pomiaru podstawowych parametrów somatycznych: wysokości i masy ciała, na podstawie których obliczono wskaźnik BMI. Zdolność do pracy fizycznej oraz wydolność aerobową przy obciążeniu układu oddechowo-krążeniowego oceniono za pomocą testu PWC170 realizowanego na trenażerze rowerowym Elite Direto. Przed rozpoczęciem wysiłku zmierzono spoczynkową częstość akcji serca (ang. *heart rate*, HR), posługując się pulsometrem Rhythm+™. Test poprzedzono 3-minutową rozgrzewką przy obciążeniu 50 W. Następnie co 1 min zwiększano obciążenie o 25 W aż do momentu osiągnięcia częstości akcji serca wynoszącej 170 ud./min lub pojawienia się subiektywnego zmęczenia stanowiącego kryterium zakończenia próby. W przypadku nieosiągnięcia wartości progowej HR wskaźnik PWC170 wyznaczano metodą graficzną (Drozd i wsp., 2025).

Pomiary spirometryczne wykonano dwukrotnie. Wykorzystano do tego aparat FlowScreen (Jaeger). Podczas analizy krzywej przepływ–objętość oceniano następujące parametry: natężoną pojemność życiową płuc (ang. *forced vital capacity*, FVC), natężoną objętość wydechową pierwszosekundową (ang. *forced expiratory volume in 1 second*, FEV₁), szczytowy przepływ wydechowy (ang. *peak expiratory flow*, PEF) oraz maksymalny przepływ wydechowy dla 50% FVC (ang. *maximal expiratory flow at 50% of forced vital capacity*, MEF₅₀). Wartości parametrów zostały wyrażane w jednostkach bezwzględnych oraz jako procent wartości należnych (Graham i wsp., 2019).

Siłę mięśni oddechowych oceniono na podstawie maksymalnego ciśnienia wdechowego (ang. *maximal inspiratory pressure*, PI_{max}) oraz maksymalnego ciśnienia wydechowego (ang. *maximal expiratory pressure*, PE_{max}) wyrażonych w kPa (Rochester, 2025). Pomiar wykonano dwukrotnie przy użyciu specjalnej przystawki do aparatu FlowScreen.

Tabela 1. Protokół treningu mięśni wdechowych zastosowany w grupie eksperymentalnej

	Tydzień							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Obciążenie (% PI_{max}) cmH_2O	30	40	40	50	50	60	60	60
Czas	2 × 5 min	2 × 8 min	2 × 11 min	2 × 11 min	2 × 13 min	2 × 13 min	2 × 15 min	2 × 15 min

W grupie 1 wdrożono pozorowany trening mięśni wdechowych ze stałym obciążeniem 15% PI_{max} (Okrzymowska i wsp., 2019). W grupie 2 wdrożono 8-tygodniowy trening mięśni wdechowych z użyciem trenażera Threshold® IMT (Okrzymowska i wsp., 2019). Obciążenie oraz czas trwania treningu modyfikowano w kolejnych tygodniach zgodnie z przyjętym protokołem (tab. 1).

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą programu Statistica PL V.12.0. Dla wszystkich analizowanych zmiennych obliczono podstawowe statystyki opisowe, w tym średnie arytmetyczne ($\bar{x}$) oraz odchylenia standardowe (SD), z uwzględnieniem podziału na grupy. Normalność rozkładu danych oceniano testem Shapiro–Wilka. Do porównania wartości średnich pomiędzy grupami zastosowano test t -Studenta dla prób niezależnych. W celu oceny istotności statystycznej zmian między pomiarami przed treningiem i po treningu zastosowano analizę wariancji ANOVA dla powtarzanych pomiarów, a w przypadku uzyskania istotnych efektów – test post-hoc NIR Fishera. Dodatkowo obliczono współczynniki korelacji rang Spearmana między analizowanymi zmiennymi. Za poziom istotności statystycznej przyjęto $p \leq 0,05$.

WYNIKI

W tabeli 2 przedstawiono charakterystykę antropometryczną oraz parametry wydolności fizycznej badanych. Analiza porównawcza pozwoliła wykazać, że różnica między grupami 1 i 2 dotyczyła wyłącznie wysokości ciała. W pozostałych zmiennych nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic między grupami.

Tabela 2. Charakterystyka antropometryczna badanych grup

Zmienna	Grupa 1 – kontrolna ($n = 9$) $\bar{x} \pm SD$	Grupa 2 – eksperymentalna ($n = 11$) $\bar{x} \pm SD$	p
Wiek (lata)	31,33 $\pm$ 0,58	27,50 $\pm$ 4,23	0,1747
Wysokość ciała (m)	1,84 $\pm$ 0,02	1,70 $\pm$ 0,04	0,0013*
Masa ciała (kg)	82,00 $\pm$ 7,00	66,33 $\pm$ 13,16	0,1009
BMI (kg/m ²)	24,34 $\pm$ 2,48	22,79 $\pm$ 4,00	0,5638
PWC (W/kg)	2,56 $\pm$ 0,08	2,31 $\pm$ 0,23	0,1084

BMI – wskaźnik masy ciała (ang. *body mass index*), PWC – fizyczna zdolność do pracy (ang. *physical working capacity*); * istotność statystyczna $p < 0,05$

Tabela 3. Charakterystyka opisowa parametrów czynnościowych układu oddechowego badanych grup

Zmienna	Grupa 1 – kontrolna ($n = 9$)		Grupa 2 – eksperymentalna ($n = 11$)	
	przed IMT ($\bar{x} \pm SD$)	po IMT ($\bar{x} \pm SD$)	przed IMT ($\bar{x} \pm SD$)	po IMT ($\bar{x} \pm SD$)
FVC (l)	4,3 $\pm$ 0,5	4,67 $\pm$ 1,38	4,6 $\pm$ 0,6	4,65 $\pm$ 0,5
% wartości należnej	97	105,3	98	99,06
FEV ₁ (l)	4,2 $\pm$ 0,5	4,31 $\pm$ 0,85	4,1 $\pm$ 0,5	4,16 $\pm$ 0,55
% wartości należnej	96	98,5	96	97,40
PEF (l/s)	10,1 $\pm$ 1,7	10,8 $\pm$ 2,23	9,5 $\pm$ 0,5	9,64 $\pm$ 0,6
% wartości należnej	105	112	102	103,5
MEF ₅₀ (l/s)	4,55 $\pm$ 1,36	4,69 $\pm$ 1,42	4,5 $\pm$ 1,0	4,57 $\pm$ 0,83
% wartości należnej	91	94	95	96,47

FVC – natężona pojemność życiowa płuc, FEV₁ – natężona objętość wydechu pierwszosekundowa, PEF – szczytowy przepływ wydechowy, MEF₅₀ – maksymalny przepływ wydechowy przy 50% FVC, IMT – trening mięśni oddechowych

Wartości średnie analizowanych parametrów spirometrycznych (FVC, FEV₁, PEF, MEF₅₀) w obu badanych grupach po zakończeniu interwencji pozostały na poziomie zbliżonym do wartości wyjściowych (tab. 3).

Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów obejmująca parametry spirometryczne oceniające funkcję płuc nie wykazała istotnego wpływu

treningu mięśni wdechowych na zmianę wartości FVC, FEV₁, PEF oraz MEF₅₀ ($p > 0,05$) (tab. 4). Nie stwierdzono również istotnej interakcji trening $\times$ grupa, co wskazuje na to, że przebieg zmian analizowanych parametrów w czasie nie różnił się istotnie między grupami.

Po zastosowaniu interwencji w grupie 2 zaobserwowano wzrost średnich wartości parametrów siły mięśni wdechowych (PI_{max} PE_{max}), podczas gdy w grupie 1 pozostały one na poziomie zbliżonym do wartości wyjściowych (tab. 5). W przypadku średnich wartości ciśnienia wydechowego (PE_{max}) odnotowano trend wzrostowy w obu badanych grupach (tab. 5).

Tabela 4. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów dla parametrów spirometrycznych

Zmienna	Grupa		Trening		Trening $\times$ grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
FVC (l)	1,7435	0,2282	1,1533	0,3184	2,1445	0,1864
FVC (%)	0,5461	0,4839	1,3133	0,2894	2,1777	0,1835
FEV ₁ (l)	6,3433	0,1598	0,4448	0,5261	1,8410	0,2169
FEV ₁ (%)	0,0770	0,7894	0,5593	0,4789	1,8070	0,2207
PEF (l/s)	16,3568	0,089	0,8533	0,3863	0,8884	0,3773
PEF (%)	8,8102	0,2081	0,6683	0,4405	0,7227	0,4233
MEF ₅₀ (l/s)	6,6542	0,3642	0,0709	0,7977	3,5294	0,1023

FVC – natężona pojemność życiowa płuc, FEV₁ – natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa, PEF – szczytowy przepływ wydechowy, MEF₅₀ – maksymalny przepływ wydechowy przy 50% FVC

Tabela 5. Charakterystyka opisowa siły mięśni oddechowych badanych grup

Zmienna	Grupa 1 – kontrolna (<i>n</i> = 9)		Grupa 2 – eksperymentalna (<i>n</i> = 11)	
	przed IMT ($\bar{x} \pm SD$)	po IMT ($\bar{x} \pm SD$)	przed IMT ($\bar{x} \pm SD$)	po IMT ($\bar{x} \pm SD$)
PI _{max} (kPa)	10 $\pm$ 4,2	10,8 $\pm$ 2,8	8,3 $\pm$ 2,9	11,9 $\pm$ 2,1
PI _{max} (%)	93,1	98,6	75,6	108
PE _{max} (kPa)	13,4 $\pm$ 2,6	13,9 $\pm$ 4,2	9,3 $\pm$ 2,1	12 $\pm$ 4,4

PI_{max} – maksymalne ciśnienie wdechowe, PE_{max} – maksymalne ciśnienie wydechowe
IMT – trening mięśni oddechowych

W tabeli 6 przedstawiono wyniki analizy wariancji dla powtarzanych pomiarów dotyczącej parametrów siły mięśni oddechowych ($PI_{\max}$, $PI_{\max}\%$ oraz $PE_{\max}$). W przypadku $PI_{\max}$ oraz $PI_{\max}\%$ odnotowano istotne zmiany wartości po treningu oraz interakcje trening $\times$ grupa, co oznacza, że efekt treningu różnił się między badanymi grupami. W przypadku parametru $PE_{\max}$ również zaobserwowano zmiany po treningu, jednak nie stwier-

Tabela 6. Analiza wariancji dla powtarzanych pomiarów dla parametrów siły mięśni oddechowych

Zmienna	Grupa		Trening		Trening $\times$ grupa	
	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
$PI_{\max}$ (kPa)	0,0220	0,8862	26,3108*	0,0013*	13,1030*	0,0085*
$PI_{\max}$ (%)	0,0841	0,7802	25,6034*	0,0014*	12,3646*	0,0097*
$PE_{\max}$ (kPa)	2,0070	0,1995	5,8930*	0,0455*	3,1591	0,1187

$PI_{\max}$ – maksymalne ciśnienie wdechowe, $PE_{\max}$ – maksymalne ciśnienie wydechowe
* poziom istotności = 0,05

Tabela 7. Współczynniki rang Spearmana uwzględniające kierunek i siłę korelacji wybranych parametrów antropometrycznych i spirometrycznych oraz siłę mięśni oddechowych

Zmienna 1	Zmienna 2	rS	Kierunek	Siła korelacji
$PI_{\max}$ (kPa)	$PE_{\max}$ (kPa)	0,750	dodatnia	silna
$PE_{\max}$ (kPa)	PEF (l/s)	0,884	dodatnia	silna
$PE_{\max}$ (kPa)	FEV ₁ (l)	0,700	dodatnia	silna
Wysokość ciała (m)	PEF (l/s)	0,677	dodatnia	umiarkowana
Masa ciała (kg)	FEV ₁ (l)	0,783	dodatnia	silna
Masa ciała (kg)	FVC (l)	0,850	dodatnia	silna
BMI (kg/m ²)	$PE_{\max}$ (kPa)	0,634	dodatnia	umiarkowana
PEF (l/s)	MEF ₅₀ (l/s)	0,730	dodatnia	silna
Wiek (lata)	PEF (l/s)	0,694	dodatnia	umiarkowana
FVC (l)	FEV ₁ (l)	0,801	dodatnia	silna

rS – współczynnik korelacji rang Spearmana, $PI_{\max}$ – maksymalne ciśnienie wdechowe, $PE_{\max}$ – maksymalne ciśnienie wydechowe, BMI – *body mass index*, PEF – szczytowy przepływ wydechowy, FEV₁ – natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa, FVC – natężona pojemność życiowa płuc, MEF₅₀ – maksymalny przepływ wydechowy przy 50% FVC

Wartości dodatnie oznaczają zależność wprost proporcjonalną.

Siłę korelacji przyjęto interpretować następująco: 0,00–0,39 – słaba, 0,40–0,69 – umiarkowana, 0,70–0,89 – silna, $\geq 0,90$ – bardzo silna.

Tabela 8. Korelacja rang Spearmana analizowanych parametrów

Zmienna	Wiek (lata)	Wysokość ciała (m)	Masa ciała (kg)	BMI (kg/m ²)	PI _{max} (kPa)	PE _{max} (kPa)	FVC (l)	FEV ₁ (l)	PEF (l/s)	MEF ₅₀ (l/s)
Wiek (lata)	1,000	0,621	0,418	0,276	0,384	0,585	0,117	-0,276	0,694*	0,577
Wysokość ciała (m)	0,621	1,000	0,736*	0,359	0,284	0,736*	0,585	0,577	0,677	0,527
Masa ciała (kg)	0,418	0,736*	1,000	0,866*	0,550	0,816*	0,850*	0,783	0,600	0,383
BMI (kg/m ²)	0,276	0,359	0,866*	1,000	0,650	0,634	0,633	0,600	0,366	0,133
PI _{max} (kPa)	0,384	0,284	0,550	0,650	1,000	0,750*	0,366	0,333	0,550	0,133
PE _{max} (kPa)	0,585	0,736*	0,816*	0,634	0,750*	1,000	0,633	0,700*	0,883*	0,583
FVC (l)	0,117	0,585	0,850*	0,633	0,366	0,633	1,000	0,800*	0,416	0,333
FEV ₁ (l)	0,410	0,577	0,783*	0,600	0,333	0,700*	0,801*	1,000	0,650	0,783*
PEF (l/s)	0,694*	0,677*	0,600	0,366	0,550	0,883*	0,416	0,650	1,000	0,733*
MEF ₅₀ (l/s)	0,577	0,527	0,383	0,133	0,133	0,583	0,333	0,783*	0,733*	1,000

BMI – *body mass index*, PI_{max} – maksymalne ciśnienie wdechowe, PE_{max} – maksymalne ciśnienie wydechowe, FVC – natężona pojemność życiowa płuc, FEV₁ – natężona objętość wydechowa pierwszosekundowa, PEF – szczytowy przepływ wydechowy, MEF₅₀ – maksymalny przepływ wydechowy przy 50% FVC

Wartości dodatnie oznaczają zależność wprost proporcjonalną.

Siłę korelacji przyjęto interpretować następująco: 0,00–0,39 – słaba, 0,40–0,69 – umiarkowana, 0,70–0,89 – silna, ≥ 0,90 – bardzo silna.

dzono interakcji trening × grupa ani różnic między grupami. Wyniki wskazują, że zastosowany trening IMT z obciążeniem 60% PI_{max} wpływał na większy wzrost siły mięśni wdechowych u badanych z grupy 2 w porównaniu z osobami z grupy 1 (15% PI_{max}).

Na podstawie korelacji rang Spearmana pomiędzy cechami somatycznymi, parametrami siły mięśni oddechowych oraz parametrami funkcji płuc badanych osób wykazano istotne dodatnie zależności między siłą mięśni wdechowych i wydechowych (PI_{max} i PE_{max}), a także między siłą mięśni wydechowych a parametrami przepływowymi i objętościowymi (PEF, FEV₁, FVC). Ponadto stwierdzono istotne korelacje między wybranymi cechami budowy ciała (wysokością i masą ciała oraz BMI) a wskaźnikami wentylacyjnymi i siłą mięśni wydechowych. Zaobserwowane zależności miały głównie charakter umiarkowany lub silny, co wskazuje na istotne powiązania między budową ciała a funkcją układu oddechowego (tab. 7, 8).

DYSKUSJA

Wyniki badań własnych pozwoliły wykazać, że zastosowany trening mięśni wdechowych przyczynił się do poprawy siły mięśni oddechowych. Jednocześnie nie zaobserwowano wyraźnych zmian w zakresie podstawowych parametrów spirometrycznych, co sugeruje, że efekt interwencji dotyczył przede wszystkim sprawności mięśni odpowiedzialnych za oddychanie, a nie klasycznych wskaźników wentylacyjnych. Tego rodzaju adaptacja może mieć istotne znaczenie w warunkach wysokogórskich, w których układ oddechowy pracuje w sposób bardziej obciążający.

Duża wydolność fizyczna oraz sprawność układu krążeniowo-oddechowego są kluczowe podczas wspinaczki wysokogórskiej, kiedy obniżona dostępność tlenu wymaga efektywnej wentylacji i odpowiedniej siły mięśni oddechowych. Hipoksja hipobaryczna może prowadzić do zaburzeń wymiany gazowej oraz wzmożonego wysiłku oddechowego (Berger i Luks, 2023). Zubieta-Calleja i Zubieta-DeUrioste (2021) stwierdzili ponadto, że ekspozycja na duże wysokości zwiększa ryzyko wysokogórskiego obrzęku płuc (ang. *high altitude pulmonary edema*, HAPE), którego mechanizmy wiążą się m.in. z zaburzeniami transportu tlenu i adaptacji układu oddechowego.

Trening mięśni oddechowych wydaje się szczególnie uzasadniony w sportach wytrzymałościowych, w których układ oddechowy jest przez długi czas intensywnie obciążany, i efektywność pracy mięśni wdechowych może wpływać na zdolność utrzymania wysokiej intensywności wysiłku. W badaniach własnych odnotowano korzystne zmiany w zakresie siły mięśni wdechowych, co wskazuje, że zastosowana interwencja okazała się skuteczna i może stanowić wartościowe uzupełnienie treningu sportowego. Uzyskane wyniki są zgodne z doniesieniami HajGhanbari i wsp. (2013), którzy zaobserwowali istotną poprawę funkcji mięśni oddechowych u sportowców wytrzymałościowych.

Podobne zależności opisali Ferraro i wsp. (2019), wskazując na poprawę funkcji mięśni wdechowych w grupie trenującej, bez jednoznacznych zmian w podstawowych parametrach wentylacyjnych. Może to sugerować, że korzyści wynikające z IMT ujawniają się przede wszystkim w obszarze siły i wydolności mięśni oddechowych, a nie we wskaźnikach spirometrycznych, które u osób aktywnych fizycznie często już przed interwencją mieszczą się w granicach normy. Należy również podkreślić, że badania własne były ograniczone niewielką liczebnością próby, co uzasadnia po-

trzebę dalszych analiz na podstawie pomiarów wykonanych w większej grupie badanych.

Beaumont i wsp. (2018) potwierdzili korzystny wpływ treningu mięśni wdechowych na wzrost maksymalnego ciśnienia wdechowego oraz redukcję duszności wysiłkowej u pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc. Badania własne przeprowadzono wprawdzie w grupie osób zdrowych, jednak można uznać, że niesprzyjające warunki wysokogórskie nasilają, podobnie jak choroby płuc, duszność oraz obniżają parametry wydolnościowo-oddechowe (Beaumont i wsp., 2018).

Vašíčková i wsp. (2017) oceniali wpływ treningu mięśni wdechowych na siłę mięśni oddechowych oraz parametry wentylacji płuc u płetwonurków. Autorzy odnotowali po zastosowaniu interwencji jedynie niewielkie, nieistotne statystycznie, zmiany w zakresie podstawowych wskaźników spirometrycznych. Jednocześnie zaobserwowali u osób trenujących wyraźną poprawę siły mięśni oddechowych wyrażoną wzrostem wartości PI_{max} i PE_{max} . Autorzy nie wykazali istotnego wzrostu wydolności fizycznej, jednak odnotowali zwiększoną tolerancję wysiłku oraz zmniejszenie subiektywnie odczuwanych trudności w oddychaniu po zakończeniu programu treningowego.

Wyniki badań własnych potwierdziły istotny wpływ 8-tygodniowego treningu IMT z obciążeniem 60% PI_{max} na zwiększenie siły mięśni oddechowych, przy braku istotnych zmian w parametrach spirometrycznych.

OGRANICZENIA

Ograniczeniem była niewielka liczebność próby. W przyszłości wskazane jest przeprowadzenie pomiarów w większej grupie wspinaczy oraz zastosowanie urządzeń umożliwiających wprowadzenie szerszego zakresu oporu treningowego (np. Powerbreathe).

WNIOSKI

Zastosowanie treningu mięśni wdechowych z obciążeniem 60% PI_{max} u osób uprawiających wspinaczkę wysokogórską wiązało się z poprawą funkcji mięśni oddechowych, jednak nie przekładało na wyraźne zmiany podstawowych parametrów wentylacyjnych płuc ocenianych metodą spirometryczną. Z uzyskanych danych wynika, że interwencja treningowa oddziaływała głównie na sprawność mięśni oddechowych bez jednoznacz-

nego wpływu na objętość płuc i przepływy wentylacyjne. Zaobserwowano także zwiększenie siły mięśni wydechowych, co sugeruje pośredni wpływ treningu mięśni wdechowych na funkcjonowanie całego układu mięśni oddechowych. Analiza zależności pozwoliła wykazać, że siła mięśni wdechowych nie była powiązana z wiekiem, wysokością ciała, masą ciała, BMI ani poziomem ogólnej wydolności fizycznej badanych. Natomiast siła mięśni wydechowych pozostawała w korelacji z wysokością oraz masą ciała, przy jednoczesnym braku zależności z BMI i wydolnością fizyczną. Nie odnotowano wpływu treningu mięśni wdechowych na czynnościowe parametry układu oddechowego mimo obserwowanych zmian w zakresie siły i funkcji mięśni oddechowych.

BIBLIOGRAFIA

- Álvarez-Herms, J., Julià-Sánchez, S., Corbi, F., Odriozola-Martínez, A., Burtcher, M. (2019). Putative role of respiratory muscle training to improve endurance performance in hypoxia: a review. *Frontiers in Physiology*, 9, 1970, <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01970>.
- Beaumont, M., Forget, P., Couturaud, F., Reyckler, G. (2018). Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Respiratory Journal*, 12(7), 2178–2188, <https://doi.org/10.1111/crj.12905>.
- Berger, M.M., Luks, A.M. (2023). *High altitude. Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*, 44(5), 681–695, <https://doi.org/10.1055/s-0043-1770063>.
- Cipriano, G.F.B., Cipriano, G., Santos, F.V., Chiappa, A.M.G., Pires, L., Cahalin, L.P., Chiappa, G. R. (2019). Current insights of inspiratory muscle training on the cardiovascular system: a systematic review with meta-analysis. *Integrative Blood Pressure Control*, 12, 29–39, <https://doi.org/10.2147/IBPC.S159386>.
- Drozd, J., Neubauer, J., Sekanina, J., Sedláčik, M. (2025). Bridging the gap: aligning physical work capacity testing with actual endurance performance in military settings. *Frontiers in Psychology*, 16, 1536197, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1536197>.
- Ferraro, F.V., Gavin, J.P., Wainwright, T., McConnell, A. (2019). The effects of 8 weeks of inspiratory muscle training on pulmonary function and physical performance in healthy older adults. *Physiological Reports*, 7(9), e14076, <https://doi.org/10.14814/phy2.14076>.
- Fiuza-Luces, C., Santos-Lozano, A., Joyner, M., Carrera-Bastos, P., Picazo, O., Zugaza, J.L., Izquierdo, M., Ruizlope, L.M., Lucia, A. (2018). Exercise benefits in cardiovascular disease: beyond attenuation of traditional risk factors. *Nature Reviews Cardiology*, 15(12), 731–743.

- Frost, S., Pham, K., Puvvula, N., Oeung, B., Heinrich, E.C. (2024). Changes in hypoxic and hypercapnic ventilatory responses at high altitude measured using rebreathing methods. *Journal of Applied Physiology*, 137(2), 364–373, <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00128.2024>.
- Graham, B.L., Steenbruggen, I., Miller, M.R., Barjaktarevic, I.Z., Cooper, B.G., Hall, G.L., Hallstrand, T.S., Kaminsky, D.A., McCarthy, K., McCormack, M.C., Oropetz, C.E., Rosenfeld M., Stanojevic S., Swanney MP, Thompson B.R. on behalf of the American Thoracic Society and the European Respiratory Society (2019). Standardization of spirometry 2019 update: an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 200(8), e70–e88, <https://doi.org/10.1164/rccm.201908-1590ST>.
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T.R., Coelho, J.D., Freedman, K.D., Morton, T.A., Palmer, S.A., Toy, M.A., Walsh, C., Sheel, A.W., Reid, W.D. (2013). *Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses*. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f>.
- Helfer, S., Quackenbush, J., Fletcher, M., Pendergast, D.R. (2016). Respiratory muscle training and exercise endurance at altitude. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(8), 704–711. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4405.2016>.
- Hess, H., Hostler, D. (2018). Respiratory muscle training effects on performance in hypo- and hyperbaria. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(11), 996–1001, <https://doi.org/10.3357/AMHP.5138.2018>.
- Illi, S.K., Held, U., Frank, I., Spengler, C.M. (2020). Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(3), 527–545, <https://doi.org/10.1007/BF03262290>.
- Małkowska, P. (2024). Positive effects of physical activity on insulin signaling. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(6), 5467–5487, <https://doi.org/10.3390/cimb46060327>.
- Mallet, R.T., Burtcher, J., Pialoux, V., Pasha, Q., Ahmad, J., Millet, G.P., Burtcher, M. (2023). Molecular mechanisms of high-altitude acclimatization. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(2), 1698, <https://doi.org/10.3390/ijms24021698>.
- Okrzymowska, P., Kurzaj, M., Seidel, W., Rożek-Piechura, K. (2019). Eight weeks of inspiratory muscle training improves pulmonary function in disabled swimmers – a randomized trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(10), 1747, <https://doi.org/10.3390/ijerph16101747>.
- Puthon, L., Bouzat, P., Rupp, T., Robach, P., Favre-Juvin, A., Verges, S. (2016). Physiological characteristics of elite high-altitude climbers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 26(9), 1052–1059, <https://doi.org/10.1111/sms.12547>.
- Ramsook, A.H., Molgat-Seon, Y., Schaeffer, M.R., Wilkie, S.S., Camp, P.G., Reid, D., Romer, L.M., Guenette, J.A. (2017). Effects of inspiratory muscle training

- on respiratory muscle electromyography and dyspnea during exercise in healthy men. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1267–1275, <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00046.2017>.
- Rochester, C.L. (2025). Respiratory muscle testing. *Clinics in Chest Medicine*, 46(3), 525–542, <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2025.04.013>.
- Vašíčková, J., Neumannová, K., Svozil, Z. (2017). The effect of respiratory muscle training on fin-swimmers' performance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 16(4), 521–526.
- Vázquez-Gandullo, E., Hidalgo-Molina, A., Montoro-Ballesteros, F., Morales-González, M., Muñoz-Ramírez, I., Arnedillo-Muñoz, A. (2022). Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) as part of a respiratory rehabilitation program implementation of mechanical devices: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5564, <https://doi.org/10.3390/ijerph19095564>.
- Zubieta-Calleja, G., Zubieta-DeUrioste, N. (2021). The oxygen transport triad in high-altitude pulmonary edema. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7619, <https://doi.org/10.3390/ijerph18147619>.

ABSTRACT

Effect of inspiratory muscle training on pulmonary ventilation and respiratory muscle function in high-altitude climbers

Introduction. The study was designed to evaluate the effects of an eight-week inspiratory muscle training programme on pulmonary ventilation and respiratory muscle function in high-altitude climbers. **Material.** The study included 20 individuals aged between 21 and 33 years who engaged in high-altitude climbing above 3000 m a.s.l. All participants were physically active and trained on a regular basis. Most reported a weekly training volume of up to 8 hours (70%) and a climbing experience of over 6 years (50%). Half of the respondents stated that they climbed once per month. **Methods.** All participants underwent anthropometric assessment and BMI calculation. Exercise capacity was evaluated using the PWC₁₇₀ test performed on a cycle ergometer with progressively increasing load. Spirometric testing was conducted twice: before and after the training period, including measurements of forced vital capacity (FVC), forced expiratory volume in one second (FEV₁), peak expiratory flow (PEF) and maximal expiratory flow at 50% of FVC (MEF50). Respiratory muscle strength was also measured (PI_{max}, PE_{max}). Eleven randomly selected climbers underwent an eight-week inspiratory muscle training programme at 60% of PI_{max} (Threshold@IMT), while nine participants performed sham IMT at a constant load of 15% PI_{max}. Statistical analysis was performed with a significance level set at $p \leq 0.05$. **Results.** Inspiratory muscle training had a significant effect on respiratory muscle strength in the climbers. Significant training effects were found for PI_{max} and PI_{max}%, along with a significant training $\times$ group interaction, indicating greater gains in inspiratory muscle strength in the experimental group (group 2).

A significant effect of the training was also found for PE_{max} . In contrast, no significant changes were detected in spirometric indices (FVC, FEV_1 , PEF, MEF_{50}), and no significant training $\times$ group interaction was found for these measures.

Conclusions. Inspiratory muscle training improved respiratory muscle function and strength without producing marked changes in basic pulmonary ventilation parameters. An increase in expiratory muscle strength was noted, with no significant association between inspiratory muscle strength and somatic variables or physical performance. These findings suggest a selective effect of inspiratory muscle training on respiratory muscle function in athletes.

Keywords: hypobaric hypoxia, spirometry, maximal expiratory pressure, inspiratory muscle training

Adres do korespondencji
e-mail: emilia.wlaz@gmail.com

OLIWIA GRUSZCZYŃSKA¹, LENA GRZECHOWIAK¹,
OLIWIA JABŁOŃSKA², DAMIAN PAWLIK², RAFAŁ SZAFRANIEC²

¹ Wyższa Szkoła Fizjoterapii we Wrocławiu

² Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

MIĘDZYSESYJNA RZETELNOŚĆ WSKAŹNIKÓW ASYMETRII PODCZAS SKOKU CMJ U SIATKAREK W WIEKU 16–17 LAT

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena międzysesyjnej rzetelności wskaźników asymetrii w skoku pionowym z miejsca z zamachem (ang. *countermovement jump*, CMJ) u siatkarek z uwzględnieniem specyfiki warunków pomiarowych. **Materiał.** W badaniu wzięło udział 15 siatkarek w wieku 16–17 lat (minimalny staż treningowy 3 lata). **Metody.** Pomiar kinetycznego wskaźnika asymetrii (ang. *kinetic asymmetry index*, KAI), rozumianego jako procentowa różnica popędu siły między kończynami, odbywał się podczas skoku CMJ wykonywanego na dwóch platformach dynamometrycznych. Wyliczono KAI dla czterech faz skoku CMJ: ekscentrycznej, koncentrycznej, ekscentrycznej podczas lądowania, koncentrycznej po lądowaniu. Analizę międzysesyjnej rzetelności przeprowadzono, stosując dwuczynnikowy model z efektami mieszanymi dla bezwzględnej zgodności ICC(3,1). Rzetelność bezwzględną oceniono, wyliczając standardowy błąd pomiaru (SEM). W celu stwierdzenia, czy różnica między pomiarami u tej samej badanej jest rzeczywista wyliczono minimalną wykrywalną zmianę (MDC) na podstawie 95% przedziału ufności (CI) dla SEM. **Wyniki.** Wyniki ICC zawierały się w przedziale 0,237–0,905. Doskonałą rzetelność względną stwierdzono dla fazy koncentrycznej (ICC = 0,905), dużą (ICC = 0,830) dla fazy ekscentrycznej i niską (ICC 0,237–0,318) dla fazy lądowania. Rzetelność bezwzględna mieściła się w zakresie 1,5–6,16%, przyjmując wyższe wartości w fazie lądowania (mniejsza dokładność i stabilność pomiaru). Wartości MDC wynosiły 4,16–17,07%. **Wnioski.** Kinetyczny wskaźnik asymetrii w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej odbicia skoku CMJ wykazywał dobrą do doskonałej rzetelność międzysesyjną, co uzasadnia jego zastosowanie w ocenie asymetrii u młodych siatkarek. Niska powtarzalność pomiaru KAI podczas lądowania sugeruje konieczność ostrożnego podejścia do diagnozy asymetrii w tej fazie skoku CMJ.

Słowa kluczowe: siatkówka, skok pionowy, kinetyczna asymetria, popęd siły, sport kobiet

WPROWADZENIE

W grach zespołowych opartych na powtarzalnych skokach i złożonych asymetrycznych ruchach powszechnie wykorzystywanym narzędziem diagnostycznym jest skok pionowy z zamachem (ang. *countermovement jump*, CMJ), który umożliwia analizę zarówno parametrów sprawności nerwo-

wo-mięśniowej [wskaźnik siły reaktywnej (ang. *reactive strength index*, RSI), maksymalna siła, maksymalna i względna moc] (Gruszczyńska i wsp., 2025), jak i kinetycznych wskaźników asymetrii między kończynami obliczanych na podstawie popędu siły w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej oraz podczas lądowania (Lonergan i wsp., 2025). W literaturze przedmiotu podkreśla się, że testy oparte na skoku pionowym są obecnie jedną z najczęściej stosowanych metod określania siły eksplozywnej kończyn dolnych oraz komponentu asymetrii między nimi (Bishop i wsp., 2021a; Dos'Santos i wsp., 2017a; Hoffman i wsp., 2007; Maloney i wsp., 2017). Zainteresowania badaczy nie koncentrują się jedynie na wartościach bezwzględnych parametrów siły i mocy, ale również na różnicach między kończynami dolnymi. Asymetria między nimi jest definiowana jako porównanie funkcjonalnych możliwości jednej kończyny względem drugiej (Bishop i wsp., 2018a). Rozwój asymetrii jest zjawiskiem powszechnym, zwłaszcza w sportach zespołowych, takich jak siatkówka, w których dominują ruchy jednostronne: wyskoki, zmiany kierunku czy czynności specyficzne dla dominującej kończyny (Fort-Vanmeerhaeghe i wsp., 2020; Hewit i wsp., 2012; Maloney i wsp., 2017; Menzel i wsp., 2013). W wielu publikacjach dotyczących siatkówki uznano, że charakteryzuje się ona zdecydowaną dominacją asymetrycznych wzorców ruchowych (Tillman i wsp., 2004). Analizując fazę lądowania, wykazano, że 45% lądowań ofensywnych (po ataku) oraz 43% defensywnych (po bloku) odbywa się jednostronnie. Warto zaznaczyć, że różnice w sile i mocy między kończynami są uważane za potencjalny czynnik ryzyka urazów sportowych (Fort-Vanmeerhaeghe i wsp., 2020; Paterno i wsp., 2007). Markou i Vagenas (2006) oraz Bahr i Bahr (1997) stwierdzili, że próg asymetrii przekraczający 15% może się wiązać ze zwiększonym ryzykiem kontuzji. Jednocześnie brakuje jednoznacznych dowodów potwierdzających tę zależność, a wiele wniosków opiera się na obserwacjach zdrowych populacji (Markou i Vagenas, 2006). W kontekście sprawności sportowej większa asymetria siły kończyn dolnych może się łączyć ze zmniejszoną zdolnością do generowania mocy oraz obniżeniem parametrów skoku (Markou i Vagenas, 2006). Wyniki badań są jednak niespójne. Część autorów wskazuje, że asymetria rzędu 6–10% może negatywnie wpływać na parametry skoku ($r = -0,47$ do $-0,56$) (Bishop i wsp. 2021a), podczas gdy inni nie wykazują istotnych zależności między asymetrią siły (~7–13%) a wynikami testów zmiany kierunku ruchu (Bishop i wsp., 2018b; Bishop i wsp. 2021b; Dos'Santos i wsp., 2017b). Brak zgody autorów podkreśla potrzebę dalszych badań nad znaczeniem

asymetrii w sporcie. Istotnym problemem pozostaje również kwestia doboru metod w ocenie asymetrii kończyn, który zależy od specyfiki dyscypliny, dostępności sprzętu oraz rzetelności testu (Bigliani i wsp., 1997; Markou i Vagenas, 2006). Różnice między kończynami dolnymi należy interpretować ostrożnie, ponieważ obserwowana asymetria może być mniejsza niż naturalna zmienność pomiaru, co ogranicza jej znaczenie kliniczne. Ponadto wykazano, że asymetria może zmieniać kierunek dominacji między sesjami pomiarowymi, co dodatkowo komplikuje jej wykorzystanie w praktyce (Zöger i wsp., 2025). Kluczowym zagadnieniem staje się zatem rzetelność międzysesyjna rozumiana jako powtarzalność uzyskanych wyników w kolejnych dniach pomiaru. Oczywiście aby asymetria mogła być traktowana jako wskaźnik diagnostyczny, jej wartość powinna pozostawać względnie stabilna w czasie. Loneragan i wsp. (2025) wykazali, że wskaźniki CMJ mogą osiągać bardzo wysoką rzetelność ($CV < 5\%$, $ICC > 0,9$), zwłaszcza gdy testy są przeprowadzane dzień po dniu oraz gdy analizuje się średnią z trzech prób. Co istotne, również wskaźniki fazy ekscentrycznej – często uznawane za mniej stabilne – mogą charakteryzować się wysoką rzetelnością w populacjach sportowców z długim stażem treningowym (Loneragan i wsp., 2025). Autorzy podkreślają jednak, że rzetelność ma charakter specyficzny dla badanej grupy i nie powinna być automatycznie przenoszona na inne populacje (Loneragan i wsp., 2025).

W przypadku młodych siatkarek (w wieku 16–17 lat), które nie zawsze wykonują test CMJ regularnie w warunkach laboratoryjnych, można się spodziewać większej zmienności technicznej oraz potencjalnie mniejszej stabilności wskaźników niż u sportowców regularnie wykonujących testy i ocenianych w dobrze kontrolowanych warunkach (Loneragan i wsp., 2025). Przegląd literatury przedmiotu wskazuje ponadto, że rzetelność pomiaru asymetrii u młodych sportowców pozostaje słabo poznana. Problem ten nabiera szczególnego znaczenia, jeśli weźmie się pod uwagę specyfikę dyscypliny sportowej, jaką jest siatkówka, liczbę jednostronnych lądowań oraz potencjalne konsekwencje dla ryzyka urazu. Ocena rzetelności wskaźników asymetrii wydaje się niezwykle istotna, ponieważ umożliwia ustalenie, które wskaźniki są wystarczająco wiarygodne, aby można było je wykorzystać w diagnostyce sportowca.

CEL BADAŃ

Celem podjętych badań była ocena asymetrii między kończynami dolnymi na podstawie pomiaru popędu siły pionowej (ang. *vertical ground reaction force*, vGRF) rejestrowanej oddzielnie dla każdej kończyny za pomocą płyt sił reakcji podłoża. Popęd siły ($N \cdot s$) jest parametrem definowanym jako iloczyn wartości siły i czasu jej działania i stanowi miarę całkowitego wkładu mechanicznego kończyny w określonej fazie ruchu. W fazie ekscentrycznej parametr ten odnosi się do zdolności hamowania i absorpcji energii, natomiast w fazie koncentrycznej – do zdolności generowania siły odbicia. Na podstawie uzyskanych danych program oblicza procentową różnicę popędu siły między kończynami (ang. *kinetic asymmetry index*, KAI), wskazując kierunek dominacji, bez wartościowania jej jako korzystnej lub niekorzystnej (Jordan i wsp., 2015).

W pracy podjęto próbę oceny międzysesyjnej rzetelności wskaźników asymetrii w skoku CMJ u siatkarek w wieku 16–17 lat z uwzględnieniem specyfiki populacji oraz warunków pomiarowych. Odpowiedź na pytanie, czy pomiar asymetrii w CMJ jest wiarygodny i powtarzalny, ma kluczowe znaczenie dla wykorzystania KAI w monitorowaniu procesu treningowego oraz podejmowaniu decyzji o ewentualnych działaniach kompensacyjnych.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 15 siatkarek w wieku 16–17 lat trenujących w jednym klubie sportowym. Charakterystykę antropometryczną badanych osób przedstawiono w tabeli 1. Wszystkie zawodniczki przeszły nie-

Tabela 1. Charakterystyka antropometryczna oraz wiek badanych

Zmienna	$\bar{x}$	SD
Wiek (lata)	16,1	0,7
Wysokość ciała (cm)	171,3	6,6
Masa ciała (kg)	63,5	5,1
BMI (kg/m^2)	21,7	1,8
Tkanka tłuszczowa (%)	21,0	2,8

BMI – wskaźnik masy ciała (ang. *body mass index*)

zbędne badania lekarskie przeprowadzone przez lekarza medycyny sportowej potwierdzające ich dobry stan zdrowia. Kryteriami włączenia były: co najmniej 3-letni staż treningowy, brak urazów układu mięśniowo-szkieletowego w okresie co najmniej 6 miesięcy przed rozpoczęciem badań, brak innych przeciwwskazań zdrowotnych do wykonywania skoków.

Metoda

Pomiar wskaźnika asymetrii odbywał się podczas skoku pionowego z miejsca z zamachem (CMJ) wykonywanego na dwóch płytach sił reakcji podłoża (typ 9286A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland). Za pomocą oprogramowania Noraxon MR 4.0.22 wyznaczano na podstawie prędkości środka masy (ang. *center of mass*, COM) i sygnału pionowej składowej siły reakcji podłoża (vGRF) fazy ruchu, a następnie obliczano wartości popędu siły ($N \cdot s$) dla każdej fazy i dla każdej kończyny dolnej osobno. Oprogramowanie pozwoliło również wyliczyć kinetyczny wskaźnik asymetrii (KAI) jako procentową różnicę popędu siły między kończynami. Wskaźnik KAI został obliczony dla czterech faz skoku CMJ:

- KAI (faza ekscentryczna) – faza hamowania podczas skoku CMJ, czyli od maksymalnej ujemnej prędkości COM do momentu, gdy prędkość równa się 0 m/s (Jordan i wsp. 2015);
- KAI (faza koncentryczna) – faza propulsji od momentu, gdy prędkość COM > 0 m/s do momentu oderwania stopy od płyty (Jordan i wsp., 2015);
- KAI lądowanie (faza ekscentryczna) – faza hamowania po lądowaniu, czyli od kontaktu stopy z płytą po locie (gdy vGRF przekroczyła próg 10 N) do momentu gdy prędkość COM = 0 m/s (VanZile i wsp., 2021);
- KAI lądowanie (faza koncentryczna) – od momentu, gdy prędkość COM > 0 m/s po lądowaniu do stabilizacji, tzn. gdy sygnał siły w granicach masy ciała ($\pm 5\%$) (VanZile i wsp., 2021).

Przebieg badań

Próby wstępne nie były konieczne, ponieważ wszystkie zawodniczki były wielokrotnie poddawane pomiarom skoku CMJ. Przed testem badane wykonały 10-minutową rozgrzewkę obejmującą bieg z umiarkowaną intensywnością, bieg ze zmianą kierunku ruchu, dynamiczne ćwiczenia rozciągające, skoki, wieloskoki, ćwiczenia aktywizujące mięśnie kończyn dolnych. Do pomiarów skoku CMJ przystępowano po 5-minutowej przerwie.

Osoba badana stawiała na dwóch platformach dynamometrycznych (każdą stopą na osobnej platformie) w pozycji wyprostowanej, stopy na szerokość bioder, ręce na biodrach, wzrok skierowany przed siebie. Po zejściu do przysiadu (uda równolegle do podłoża) miała za zadanie wykonać jak najszybciej maksymalny skok pionowy, wybijając się obiema nogami i lądując każdą stopą na platformie, z której się odbiła. Po wylądowaniu musiała pozostać chwilę w bezruchu (Gruszczyńska i wsp., 2025). Każda próba była monitorowana przez osobę nadzorującą badania i w razie błędnego ułożenia stóp na płytach skok był powtarzany. Następnie badana mogła poprawić swoje położenie i na komendę wykonać ponowny skok. Procedurę powtarzano pięć razy. Przerwa między skokami wynosiła 15 s. Podczas każdego skoku osoba badana była motywowana do tego, aby skoczyć jak najwyżej. Do analizy brano wartość średnią KAI z pięciu skoków. Taką samą procedurę zawodniczki wykonały w czterech kolejnych dniach (od wtorku do piątku).

Analiza statystyczna

W każdej sesji pomiarowej obliczano średnią z pięciu skoków CMJ. Obliczono statystyki opisowe zawierające wartości średnie ($\bar{x}$), odchylenia standardowe (SD) i 95% przedziały ufności (CI). W celu zbadania ewentualnych różnic w wartościach KAI w poszczególnych dniach pomiarowych wykonano analizę ANOVA z powtarzanymi pomiarami. Poziom istotności statystycznej wynosił $\alpha < 0,05$.

Analizę rzetelności przeprowadzono z wykorzystaniem modułu Agreement w programie Jamovi (wersja 2.6.44), stosując dwuczynnikowy model z efektami mieszanymi dla bezwzględnej zgodności ICC(3,1). Wartość współczynnika korelacji wewnątrzklasowej (ICC) powyżej 0,9 wskazuje na rzetelność doskonałą; 0,75–0,9 dobrą; 0,5–0,75 umiarkowaną; a poniżej 0,5 niską (Koo i Li, 2016). Rzetelność bezwzględną oceniono, wyliczając standardowy błąd pomiaru (SEM) według wzoru (Atkinson i Nevill, 1998):

$$SEM = SD \times \sqrt{1 - ICC}$$

W celu stwierdzenia, czy różnica między pomiarami u tej samej osoby badanej jest rzeczywista wyliczono minimalną wykrywalną zmianę (ang. *minimal detectable change*, MDC) na podstawie 95% przedziału ufności (CI) dla SEM (Weir, 2005):

$$MDC = SEM \times 1,96 \times \sqrt{2}$$

WYNIKI

W analizie ANOVA z powtarzanymi pomiarami nie wykazano istotnych statystycznie różnic w zakresie KAI między dniami pomiarów we wszystkich fazach skoku CMJ (tab. 2).

Wyniki ICC zawierały się w przedziale 0,237–0,905 (tab. 3). Najwyższą wartość, świadczącą o doskonałej rzetelności względnej, stwierdzono w odniesieniu do fazy koncentrycznej (ICC = 0,905). Dużą rzetelność (ICC = 0,830) obserwowano w przypadku fazy ekscentrycznej. Wskaźnik asymetrii mierzony w fazie lądowania charakteryzował się niską rzetelno-

Tabela 2. Statystyka opisowa procentowego kinetycznego wskaźnika asymetrii (KAI [%]) w kolejnych dniach pomiarów

Zmienna	Dzień 1 $\bar{x} \pm SD$ (95% CI)	Dzień 2 $\bar{x} \pm SD$ (95% CI)	Dzień 3 $\bar{x} \pm SD$ (95% CI)	Dzień 4 $\bar{x} \pm SD$ (95% CI)	<i>p</i>
KAI (faza ekscentryczna)	11,54 ± 6,95 (7,69–15,38)	11,04 ± 7,41 (6,93–15,14)	10,51 ± 7,36 (6,44–14,59)	10,06 ± 6,28 (6,59–13,54)	0,548
KAI (faza koncentryczna)	6,66 ± 4,68 (4,07–9,24)	6,83 ± 5,11 (4,00–9,66)	7,23 ± 4,82 (4,56–9,90)	6,61 ± 4,83 (3,94–9,29)	0,677
KAI lądowanie (faza ekscentryczna)	17,92 ± 8,18 (13,39–22,45)	19,52 ± 6,32 (16,02–23,02)	17,55 ± 7,67 (13,30–21,79)	18,46 ± 6,24 (15,00–21,92)	0,842
KAI lądowanie (faza koncentryczna)	18,36 ± 10,02 (12,81–23,91)	17,94 ± 6,16 (14,53–21,35)	19,03 ± 6,66 (15,35–22,72)	18,44 ± 6,36 (14,92–21,97)	0,972

Tabela 3. Międzyseesyjna rzetelności kinetycznego wskaźnika asymetrii (KAI) w poszczególnych fazach skoku CMJ

Zmienna	ICC (95% CI)	SEM	MDC
KAI (faza ekscentryczna)	0,830 (0,708–0,919)	2,89	8,01
KAI (faza koncentryczna)	0,905 (0,828–0,956)	1,50	4,16
KAI lądowanie (faza ekscentryczna)	0,237 (0,040–0,503)	6,16	17,07
KAI lądowanie (faza koncentryczna)	0,318 (0,110–0,577)	6,07	16,82

ścią względną (ICC 0,237–0,318). Wartości SEM (rzetelność bezwzględna) wynosiły od 1,5 do 6,16%. Wyższe wartości SEM obserwowano w fazie lądowania (mniejsza dokładność i stabilność pomiaru). Wartości MDC, które zostały wyliczone, aby stwierdzić, czy różnice wskaźnika asymetrii między dniami pomiarów są rzeczywiste, mieściły się w przedziale od 4,16 do 17,07. Różnice parametru KAI między sesjami pomiarowymi dla każdej fazy skoku CMJ okazały się mniejsze od wartości MDC, dlatego nie mogły być uznane za rzeczywiste.

DYSKUSJA

Celem badań była ocena międzysesyjnej rzetelności kinetycznego wskaźnika asymetrii (KAI) podczas skoku CMJ u młodych siatkarek. Zaobserwowano, że rzetelność tego wskaźnika była zróżnicowana w zależności od analizowanej fazy ruchu – wysoka w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej odbicia (obciążenia), niska w przypadku fazy lądowania. Wykorzystanie popędu siły jako parametru do obliczenia KAI wpisuje się w rekomendacje dotyczące analizy parametrów kinetycznych o wysokiej czułości (Jordan i wsp., 2015). Zöger i wsp. (2025) wykazali, że parametry asymetrii mogą wykazywać dobrą wiarygodność, jednak ich stabilność zależy od rodzaju testu i złożoności wykonywanego zadania ruchowego. Wyniki badań własnych potwierdzają tę obserwację – KAI w fazie przygotowania do odbicia charakteryzował się dobrą i doskonałą rzetelnością (ICC = 0,83–0,91), natomiast w fazie lądowania rzetelność była niska (ICC = 0,24–0,32). Brak istotnych różnic w analizie ANOVA między wynikami uzyskanymi w kolejnych dniach pomiarów wskazuje na stabilność średnich wartości KAI w czasie. Dodatkowo zaobserwowane różnice w każdej fazie skoku CMJ okazały się mniejsze niż wartości minimalnej wykrywalnej zmiany (MDC), co oznacza, że mieściły się w granicach błędu i nie mogą być interpretowane jako rzeczywiste zmiany (Weir, 2005). Podobną wysoką rzetelność wybranych parametrów CMJ uzyskanych w kolejnych sesjach wykazali Gathercole i wsp. (2015), podkreślając znaczenie CMJ jako powtarzalnego narzędzia oceny funkcji nerwowo-mięśniowej w warunkach kontrolowanych. Również Lonergan i wsp. (2025) odnotowali bardzo wysoką międzysesyjną rzetelność parametrów CMJ u elitarnych zawodników piłki nożnej, zwłaszcza gdy analizowali średnią z kilku prób, co jest zgodne z metodologią zastosowaną w badaniach własnych. Wysoka rzetelność KAI w fazie koncentrycznej (ICC = 0,905) – klasyfiko-

wana przez Koo i Li (2016) jako doskonała – sugeruje, że faza generowania siły jest względnie stabilnym i powtarzalnym komponentem ruchu. Być może wynika to z większej automatyzacji wzorca wybicia oraz lepszej kontroli motorycznej tej fazy u zawodniczek, u których skoki pionowe są swego rodzaju podstawowym i mocno utrwalonym wzorcem treningowym. González-García i wsp. (2024) wykazali, że parametry kinetyczne fazy koncentrycznej CMJ należą do najbardziej powtarzalnych, zarówno w analizie wewnątrz-, jak i międzysesyjnej, co dodatkowo wspiera interpretację wyników uzyskanych w badaniach własnych. W przeciwieństwie do fazy odbicia, faza lądowania charakteryzowała się niską rzetelnością. Jest to zgodne z obserwacjami González-Garcí i wsp., (2015), według których parametry związane z fazą amortyzacji i aktywnego ustabilizowania się po wykonanym skoku wykazują większą zmienność w porównaniu z bardziej zautomatyzowaną fazą propulsji. Faza lądowania wymaga szybkiej adaptacyjnej kontroli nerwowo-mięśniowej i może być bardziej podatna na subtelne różnice strategii ruchowych między dniami, w których są wykonywane skoki. Zöger i wsp. (2025) podkreślają, że im bardziej złożone i reaktywne zadanie, tym większa może być zmienność między sesjami, co może częściowo wyjaśniać niskie wartości ICC w analizowanej fazie lądowania. Faza lądowania ma duże znaczenie kliniczne. Hewett i wsp. (2005) wykazali, że zaburzenia kontroli nerwowo-mięśniowej podczas lądowania zwiększają ryzyko urazu więzadła krzyżowego przedniego. W kontekście siatkówki, w której znaczny odsetek lądowań odbywa się na jedną nogę (Markou i Vagenas, 2006; Tillman i wsp., 2004), ocena asymetrii w tej fazie wydaje się szczególnie istotna. Jednak niska rzetelność KAI w fazie lądowania sugeruje, że pojedynczy pomiar może być niewystarczający do podejmowania decyzji klinicznych, a interpretacja wyników powinna być ostrożna. Znaczenie asymetrii dla sprawności sportowej pozostaje przedmiotem dyskusji. Przeglądy systematyczne wskazują, że większe asymetrie mogą wiązać się z obniżeniem zdolności szybkościowych, skoczności i zmiany kierunku ruchu (Bishop i wsp., 2018b; Fox i wsp., 2023). Jednocześnie efekty te są zazwyczaj niewielkie do umiarkowanych i silnie zależne od kontekstu zadania oraz poziomu sportowego. Fort-Vanmeerhaeghe i wsp. (2020) wykazali, że u młodych elitarnych zawodników sportów zespołowych asymetrie wiążą się z pogorszeniem wyników testów mocy i szybkości, jednak zależności te nie są jednolite we wszystkich testach. Bishop i wsp. (2021b) podkreślają potrzebę indywidualnego podejścia do analizy asymetrii oraz zachowania ostrożności

w interpretowaniu wartości progowych. W literaturze przedmiotu sugerowano próg 10–15% jako potencjalnie niekorzystny, jednak nowsze analizy wskazują, że wpływ asymetrii jest zadaniowo specyficzny i nie powinien być oceniany wyłącznie na podstawie jednej wartości granicznej (Bishop i wsp., 2018b; Fox i wsp. 2023). Dodatkowo Bishop i wsp. (2018a) wskazują, że zarówno metoda obliczania asymetrii, jak i naturalna zmienność pomiarowa mogą niewątpliwie wpływać na uzyskaną wartość, dlatego obserwowane różnice między kończynami dolnymi nie zawsze odzwierciedlają prawdziwe różnice funkcjonalne. W kontekście siatkówki należy również uwzględnić specyfikę adaptacji treningowych. Markou i Vagenas (2006) odnotowali występowanie u elitarnych siatkarzy asymetrii siły mięśni działających na staw kolanowy i ramienny, co sugeruje, że może być ona częściowo efektem długotrwałej specjalizacji ruchowej. W tej perspektywie asymetria nie zawsze musi być traktowana jako zjawisko patologiczne, może też bowiem świadczyć o adaptacji funkcjonalnej – pod warunkiem, że jej poziom jest stabilny i nie przekracza zdolności kompensacyjnych zawodnika.

Podsumowując, uzyskane wyniki wskazują, że kinetyczny wskaźnik asymetrii w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej CMJ może stanowić wiarygodne narzędzie monitorowania młodych siatkarek. Niska rzetelność parametrów fazy lądowania ogranicza jednak ich przydatność w ocenie krótkoterminowych zmian i sugeruje konieczność wielokrotnych pomiarów lub uzupełnienia analizy o inne wskaźniki kontroli nerwowo-mięśniowej. Wyniki te wpisują się w aktualne stanowisko ekspertów, którzy podkreślają potrzebę ostrożnej, indywidualnej i kontekstowej interpretacji asymetrii między kończynami (Bishop i wsp., 2018b; Bishop i wsp., 2021a; Fox i wsp., 2023).

OGRANICZENIA

Przedstawione badania mają pewne ograniczenia, takie jak niewielka i jednorodna grupa badana, oznaczające, że rzetelność testów ma charakter populacyjnie specyficzny (Lonergan i wsp., 2025). Krótki odstęp między sesjami pomiarów również mógł wpłynąć na stabilność wyników m.in. ze względu na powtarzalną technikę i brak dużych zmian w zakresie zmęczenia treningowego. Nie analizowano też stabilności kierunku dominacji między kolejnymi sesjami pomiarowymi, mimo że w literaturze przedmiotu wskazuje się na możliwość zmiany strony dominującej w czasie

(Zöger i wsp., 2025), a zmienność ta może mieć duże znaczenie funkcjonalne i kliniczne, dlatego jej stabilność należy uwzględnić w kolejnych badaniach nad interpretacją asymetrii między kończynami dolnymi.

WNIOSKI

Kinetyczny wskaźnik asymetrii w fazie ekscentrycznej i koncentrycznej odbicia skoku CMJ wykazywał dobrą do doskonałej rzetelność międzysesyjną, co uzasadnia jego zastosowanie w ocenie asymetrii kończyn dolnych. Niska powtarzalność pomiaru tego wskaźnika podczas lądowania sugeruje konieczność ostrożnego podejścia do diagnozy asymetrii w tej fazie skoku CMJ. Interpretacja dotycząca asymetrii powinna mieć charakter indywidualny, uwzględniać specyfikę zadania ruchowego oraz być wsparta szerszą oceną kontroli nerwowo-mięśniowej.

BIBLIOGRAFIA

- Atkinson, G., Nevill, A.M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217–38, <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>.
- Bahr, R., Bahr, I.A. (1997). Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 7(3), 166–171, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1997.tb00134.x>.
- Bigliani, L.U., Codd, T.P., Connor, P.M., Levine, W.N., Littlefield, M.A., Hershon, S.J. (1997). Shoulder motion and laxity in the professional baseball player. *American Journal of Sports Medicine*, 25(5), 609–613, <https://doi.org/10.1177/03635465970250050>.
- Bishop, C., Lake, J., Loturco, I., Papadopoulos, K., Turner, A., Read, P. (2021a). Interlimb asymmetries: the need for an individual approach to data analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(3), 695–701, <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002729>.
- Bishop, C., Read, P., Lake, J., Chavda, S., Turner, A. (2018a). Interlimb asymmetries: understanding how to calculate differences from bilateral and unilateral tests. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 1–6, <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000371>.
- Bishop, C., Read, P., McCubbine, J., Turner, A. (2021b). Vertical and horizontal asymmetries are related to slower sprinting and jump performance in elite youth female soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(1), 56–63, <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002544>.
- Bishop, C., Turner, A., Read, P. (2018b). Effects of inter-limb asymmetries on physical and sports performance: a systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 36(10), 1135–1144, <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.136189>.

- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P.A., Comfort, P. (2017a). Asymmetries in single and triple hop are not detrimental to change of direction speed. *Journal of Trainology*, 6(2), 35–41, https://doi.org/10.17338/trainology.6.2_35.
- Dos'Santos, T., Thomas, C., Jones, P.A., Comfort, P. (2017b). Assessing muscle strength asymmetry via a unilateral stance isometric mid-thigh pull. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 505–511, <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0179>.
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Bishop, C., Buscà, B., Aguilera-Castells, J., Vicens-Bordas, J., Gonzalo-Skok O. (2020). Inter-limb asymmetries are associated with decrements in physical performance in youth elite team sports athletes. *PLOS ONE*, 15(3), e0229440, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229440>.
- Fox, K.T., Pearson, L.T., Hicks, K.M. (2023) The effect of lower inter-limb asymmetries on athletic performance: a systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 18(6), e0286942, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286942>.
- Gathercole, R.J., Sporer, B.C., Stellingwerff T., Sleivert G.G. (2015). Comparison of the capacity of different jump and sprint field tests to detect neuromuscular fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522–2531, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>.
- González-García, J., Conejero M., Gutiérrez-Hellín J. (2024) Assessing jump performance: intra- and interday reliability and minimum difference of countermovement jump and drop jump outcomes, kinetics, kinematics, and jump strategy. *Applied Sciences*, 14(6), 2662, <https://doi.org/10.3390/app14062662>.
- Gruszczyńska, O., Grzechowiak, L., Reszka, A., Kaczor, M., Han, J., Gajewski, K., Pietrzak, E., Szafraniec, R. (2025). Związki między sztywnością ścięgna Achillesa i mięśnia brzuchatego łydki a parametrami skoku pionowego. [W:] M. Słowińska-Lisowska, K. Michalik (red.), *Problemy badawcze „Wokół człowieka” w świetle doniesień młodych naukowców* (s. 266–279). Wrocław: AWF.
- Hewett, T.E., Myer, G.D., Ford, K.R., Heidt, Jr R.S., Colosimo, A.J., McLean, S.G., Van den Bogert, A.J., Paterno, M.V., Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492–501, <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>.
- Hewitt, J.K., Cronin, J.B., Hume, P.A. (2012). Asymmetry in multi-directional jumping tasks. *Physical Therapy in Sport*, 13(4), 238–242, <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2011.12.003>.
- Hoffman, J.R., Ratamess, N.A., Klatt, M., Faigenbaum, A.D., Kang, J. (2007). Do bilateral power deficits influence direction-specific movement patterns? *Research in Sports Medicine*, 15(2), 125–132, <https://doi.org/10.1080/15438620701405313>.
- Jordan, M.J., Agaard, P., Herzog, W. (2015). Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: a comparison between ski racers with and without ACL reconstruction. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(3), e301–e309, <https://doi.org/10.1111/sms.12314>.

- Koo, T.K., Li, M.Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163, <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.
- Lonergan, B., Cohen, D.D., Williams, S., Lawson, R., Howarth, D.J., Johnson, D.M. (2025). Inter-day reliability of countermovement jump metrics in elite academy soccer players. *International Journal of Strength and Conditioning*, 5(1), <https://doi.org/10.47206/ijsc.v5i1.504>.
- Maloney, S.J., Richards, J., Nixon, D.G.D., Harvey, L.J., Fletcher, I.M. (2017). Do stiffness and asymmetries predict change of direction performance? *Journal of Sports Sciences*, 35(6), 547–556, <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1179775>.
- Markou, S., Vagenas, G. (2006) Multivariate isokinetic asymmetry of the knee and shoulder in elite volleyball players. *European Journal of Sport Science*, 6(1), 71–80, <https://doi.org/10.1080/17461390500533147>.
- Menzel, H., Mauro, H.C., Szmuchrowski, L., Araujo, S., de Andrade, A., de Jesus-Moraleida F.R. (2013). Analysis of lower limb asymmetries by isokinetic and vertical jump tests in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1370–1377, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318265a3c8>.
- Paterno, M.V., Ford, K.R., Myer, G.D., Heyl, R., Hewett, T. (2007). Limb asymmetries in landing and jumping 2 years following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 17(4), 258–262, <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e31804c77ea>.
- Tillman, M.D., Hass, C., Brunt, D., Bennett, G.R. (2004) Jumping and landing techniques in elite women's volleyball. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(1), 30–36.
- VanZile, A.W., Reineke, D.M., Snyder, M.J., Jones, D.D., Dade, R.L., Almonroeder, T.G. (2021). Establishing normative values for inter-limb kinetic symmetry during landing in uninjured adolescent athletes. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), 1067–1075, <https://doi.org/10.26603/001c.25366>.
- Weir, J.P. (2005). Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231–240.
- Zöger, M., Nimmerichter, A., Baca, A., Wirth, K. (2025). Bilateral strength asymmetry in knee extension: a reliability and consistency analysis for scientific and practical applications. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1635685, <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1635685>.

ABSTRACT

Inter-session reliability of asymmetry Indices during the countermovement jump (CMJ) in female volleyball players aged 16–17 years

Introduction. The study was designed to assess the inter-session reliability of asymmetry indices in the vertical countermovement jump (CMJ) in female volleyball players, taking into account the specific characteristics of the measure-

ment conditions. **Material.** The study involved 15 female volleyball players aged 16–17 years, each with a minimum of 3 years of training experience. **Methods.** The kinetic asymmetry index (KAI), defined as the percentage difference in force impulse between the limbs, was measured during a CMJ performed on two force platforms. The KAI was calculated for four phases of the CMJ: eccentric, concentric, eccentric during landing, and concentric after landing. Inter-session reliability was analysed using a two-way mixed-effects model for absolute agreement [ICC(3,1)]. Absolute reliability was evaluated through the calculation of the standard error of measurement (SEM). To establish whether within-subject differences between measurements were genuine, the minimal detectable change (MDC) was computed from the 95% confidence interval (CI) of the SEM. **Results.** The ICC values fell within the range of 0.237–0.905. Excellent relative reliability was observed for the concentric phase (ICC = 0.905), high reliability for the eccentric phase (ICC = 0.830), and low reliability for the landing phase (ICC = 0.237–0.318). Absolute reliability (SEM) ranged from 1.5% to 6.16%, with higher values observed during the landing phase, indicating lower measurement accuracy and stability. MDC values ranged from 4.16% to 17.07%. **Conclusions.** The kinetic asymmetry index during the eccentric and concentric phases of CMJ take-off exhibited good to excellent inter-session reliability, supporting its use for assessing asymmetry in young female volleyball players. The low repeatability of KAI measurements during the landing phase suggests that caution is required when assessing asymmetry in this phase of the CMJ. **Keywords:** volleyball, vertical jump, kinetic asymmetry, force impulse, women's sports

Adres do korespondencji
e-mail: oliwiagruszczynska51@gmail.com

LENA GRZECHOWIAK¹, OLIWIA GRUSZCZYŃSKA¹,
OLIWIA JABŁOŃSKA², DAMIAN PAWLIK², RAFAŁ SZAFRANIEC²

¹ Wyższa Szkoła Fizjoterapii we Wrocławiu

² Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

ZWIĄZKI MIĘDZY SIŁĄ MIĘŚNI ODDECHOWYCH A SPRAWNOŚCIĄ FIZYCZNĄ SIATKAREK W WIEKU 15–17 LAT

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena związków między siłą mięśni oddechowych a wytrzymałością mięśni głębokich tułowia (*core*), parametrami skoku pionowego i zwinnością u zawodniczek uprawiających siatkówkę. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 17 siatkarek w wieku 15–17 lat (minimalny staż treningowy 3 lata). **Metody.** Za pomocą urządzenia Airofit i dedykowanej aplikacji wykonano pomiar maksymalnego ciśnienia wydechowego (ang. *maximum expiratory pressure*, MEP) i wdechowego (ang. *maximum inspiratory pressure*, MIP). Do oceny parametrów motorycznych zastosowano testy obejmujące: (1) skok pionowy z zamachem (ang. *counter movement jump*, CMJ), w którym mierzono wysokość skoku, szybkość narastania siły (ang. *rate of force development*, RFD) i zmodyfikowany wskaźnik siły reaktywnej; (2) zwinność (test Illinois) oraz (3) wytrzymałość mięśni głębokich tułowia (czas utrzymania pozycji podporu tułowia przodem i bokiem). W celu stwierdzenia ewentualnych związków między siłą mięśni oddechowych a parametrami sprawności fizycznej posłużono się współczynnikiem korelacji r Pearsona. **Wyniki.** Najwyższe wartości współczynnika korelacji stwierdzono między MEP a wynikami podporów tułowia bokiem na prawym ($r = 0,68$; $p = 0,003$) i lewym ($r = 0,65$; $p = 0,005$) przedramieniu, a także między MEP a wysokością skoku CMJ ($r = 0,50$; $p = 0,040$) oraz RFD ($r = 0,60$; $p = 0,010$). MIP korelował istotnie statystycznie wyłącznie z wynikiem podporu tułowia bokiem, zarówno dla prawej ($r = 0,61$; $p = 0,010$), jak i lewej strony ($r = 0,55$; $p = 0,022$). **Wnioski.** Obserwowane istotne statystycznie związki między siłą mięśni wydechowych a wytrzymałością mięśni głębokich tułowia (zwłaszcza skośnych brzucha), a także wysokością skoku CMJ i RFD sugerują, że silniejsze mięśnie wydechowe mogą mieć pozytywny wpływ na specyficzną sprawność fizyczną młodych siatkarek.

Słowa kluczowe: maksymalne ciśnienie wydechowe, skok CMJ, RFD, RSI_{mod} , test Illinois, mięśnie głębokie tułowia

WPROWADZENIE

Trening mięśni oddechowych w sporcie jest coraz częściej stosowany nie tylko w celu poprawy ich siły i wytrzymałości, ale również ze względu na jego potencjalny wpływ na stabilizację tułowia i kontrolę posturalną.

Liczne badania systematyczne wskazują, że programy treningowe ukierunkowane na wzmocnienie mięśni oddechowych mogą prowadzić do istotnej poprawy wydolności fizycznej sportowców (HajGhanbari i wsp., 2013). W literaturze przedmiotu sugeruje się, że ćwiczenia stabilizacji centralnej (ang. *core stability*), które obejmują także komponenty oddechowe, wpływają korzystnie na siłę mięśni oddechowych, funkcje oddechowe oraz kontrolę postawy. Tuncer i Gurses (2024) oraz Agostini i wsp. (2013) wykazali w badaniach randomizowanych, że trening mięśni głębokich tułowia (*core*) wspomagany specyficznymi technikami oddechowymi przyczynił się do poprawy siły mięśni oddechowych i parametrów spirometrycznych, co wskazuje na ścisłą korelację między układem oddechowym a mechanizmami stabilizacyjnymi tułowia. Zemková i Zapletalová (2022) w przeprowadzonej metaanalizie zauważyli, że stabilność posturalna odgrywa istotną rolę w osiągnięciach sportowych w takich dyscyplinach, jak łucznictwo, biathlon, gimnastyka, strzelectwo oraz w sportach zespołowych (np. koszykówce, hokeju, piłce nożnej, tenisie).

Trening mięśni oddechowych polega na wykonywaniu kontrolowanych ćwiczeń oddechowych z dodatkowym oporem lub zwiększonym przepływem powietrza, co prowadzi do systematycznego zwiększenia siły i wytrzymałości mięśni biorących udział w oddychaniu. Do treningu mięśni oddechowych wykorzystywane są specjalistyczne urządzenia oporowe, m.in. Airofit PRO™, który jest mobilnym trenażerem mięśni oddechowych sterowanym przez aplikację, umożliwiającym aplikowanie regulowanego oporu powietrza podczas wdechu i wydechu (<https://airofit.io/how-it-works/>). Airofit PRO™ może być używany nie tylko jako trenażer, ale również jako narzędzie diagnostyczne do pomiaru maksymalnego ciśnienia wdechowego i wydechowego, ponieważ charakteryzuje się podobną dokładnością pomiaru jak w urządzeniu MicroRPM (Stavrou i wsp., 2021), które jest uznawane za standard referencyjny w pomiarze siły mięśni oddechowych (Curtis i wsp., 2024) i wykazuje wysoką rzetelność pomiarową ($ICC > 0,90$) u zdrowych osób (Dimitriadis i wsp., 2011).

Trening mięśni oddechowych bywa stosowany zarówno w kontekście poprawy wydolności fizycznej, jak i w treningu stabilizacji tułowia, gdyż silniejsza i bardziej wytrzymała przepona oraz mięśnie oddechowe poprawiają kontrolę ciśnienia śródbrzusznego i stabilność centralną (Seo i wsp., 2024). To właśnie mięśnie *core*, takie jak mięśnie skośne brzucha, mięsień prosty brzucha, mięsień poprzeczny brzucha, mięśnie wielodzielne kręgosłupa oraz przepona, wytwarzają istotne ciśnienie śródbrzuszne, które zwiększa sztywność segmentów kręgosłupa, ogranicza nadmierne ruchy,

a tym samym wpływa na stabilność tułowia (Szafraniec i wsp., 2018). Wszystkie wymienione mięśnie *core* pełnią dwie osobne funkcje. Oprócz ważnej roli w stabilizacji tułowia ich funkcją jest branie udziału w wentylacji płuc poprzez zwiększanie lub zmniejszanie objętości klatki piersiowej w czasie wdechu i wydechu.

W skład mięśni oddechowych zasadniczych wchodzi mięśnie okolicy klatki piersiowej oraz mięśnie brzucha. Ściana klatki piersiowej jest zbudowana z mięśni międzyżebrowych zewnętrznych, mięśni międzyżebrowych wewnętrznych oraz mięśnia poprzecznego klatki piersiowej. Mięśnie te odpowiadają za zmiany objętości klatki piersiowej podczas oddychania. Rolę mięśni wydechowych (zmniejszających objętość klatki piersiowej) pełnią mięśnie międzyżebrowe wewnętrzne oraz mięśnie podżebrowe, natomiast mięśnie międzyżebrowe zewnętrzne zalicza się do mięśni wdechowych, ponieważ zwiększają one objętość klatki piersiowej (Clemens i wsp., 2011; Pilarski i wsp., 2019). Do klatki piersiowej przyczepiają się także inne mięśnie, które nie wchodzi w skład jej ściany, a ich zadaniem jest wspomaganie głównych mięśni oddechowych. Do tych pomocniczych mięśni wdechowych należą od przodu: mięsień piersiowy większy, mięsień piersiowy mniejszy oraz mięsień zębaty przedni. Ich funkcją jest unoszenie żeber. Od tyłu znajdują się: mięsień dźwigacz żeber, który unosi żebra i wspiera główne mięśnie wdechowe, oraz mięsień zębaty tylny górny i dolny. Mięsień górny unosi żebra, a mięsień dolny obniża je przy wymuszonym wydechu (Tang i Bordoni, 2023).

Granicę pomiędzy jamą klatki piersiowej a jamą brzuszną wyznacza przepona, która jest aktywna praktycznie przy każdym wdechu, dlatego uznaje się ją za główny mięsień wdechowy. Z punktu widzenia mechaniki działania skurcz przepony powoduje zwiększenie objętości jamy klatki piersiowej oraz obniżenie ciśnienia śródpiersiowego (Pilarski i wsp., 2019). Warto wspomnieć, że przepona oprócz pełnienia funkcji mięśnia oddechowego znacząco wpływa również na stabilizację tułowia jako mięsień *core* (Seo i wsp., 2024; Stokes i wsp., 2000). Podsumowując, układ mięśni oddechowych obejmuje zarówno główne, jak i pomocnicze struktury, które współpracują w regulacji objętości klatki piersiowej i ciśnienia śródpiersiowego.

Siatkówka zalicza się do gier zespołowych. Rozgrywka bazuje na dobrze rozwiniętej motoryce zawodników, którzy w trakcie gry wykonują szybkie ruchy, w większości acykliczne, skoki i lądowania (Bonato i wsp., 2022; Keoliya i wsp., 2024). Taki charakter dyscypliny wymaga od zawodnika

odpowiedniej zwinności, skoczności oraz stabilizacji. Jak wspomniano w pracy Keoliya i wsp. (2024), wykonano wiele badań nad doborem odpowiedniego treningu dla siatkarki i wykazano, że stosowanie spersonalizowanych programów treningowych pozytywnie wpływa na zwinność, siłę i skoczność zawodników. We wspomnianej pracy analizowano przede wszystkim znaczenie treningu zwinnościowego u siatkarki. Dodatkowo Fogliata i wsp. (2025) odnotowali, że trening mięśni *core* znacząco ułatwia wykonywanie skoków poprzez zwiększenie stabilności tułowia i poprawę równowagi. Najnowsze doniesienia wskazują, że programy treningowe tego typu warunkują poprawę wytrzymałości mięśni tułowia, koordynacji ruchowej oraz osiągnięć sportowych u młodzieży uprawiającej gry zespołowe, w tym siatkówkę (Mueller i wsp., 2018; Willardson i wsp., 2007). Na podstawie przedstawionych danych można wywnioskować, że silny i wytrzymały *core* u młodych siatkarek znacząco poprawia wyniki aktywności fizycznych dominujących w tej dyscyplinie.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena związków między siłą mięśni oddechowych a wytrzymałością mięśni głębokich tułowia (*core*), parametrami skoku pionowego oraz zwinnością u siatkarek.

MATERIAŁY I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 17 siatkarek w wieku 15–17 lat. Każda zawodniczka posiadała co najmniej 3-letni staż treningowy. Charakterystykę antropometryczną badanych osób przedstawiono w tabeli 1. Przed przystąpieniem do pomiarów zawodniczki musiały przejść szczegółowe badania lekarskie i uzyskać pozytywny wynik. W czasie badań wykluczono choroby układu oddechowego. Kryteria zakwalifikowania do projektu były następujące: (1) uprawianie siatkówki wyczynowo, (2) podejmowanie 1,5-godzinnej aktywności fizycznej co najmniej 5 razy w tygodniu, (3) brak chorób układu oddechowego, (4) niekorzystanie z wyrobów tytoniowych, (5) powstrzymanie się od treningu mięśni oddechowych w jakiejkolwiek formie przed eksperymentem. Wszystkie badane zostały poinformowane o przebiegu projektu i podpisały zgodę na udział w nim.

Tabela 1. Charakterystyka antropometryczna i wiek badanych

Zmienna	$\bar{x}$	SD
Wiek (lata)	15,9	0,8
Wysokość ciała (cm)	171,4	6,9
Masa ciała (kg)	64,2	5,2
BMI (kg/m ²)	21,9	2,1
Tkanka tłuszczowa (%)	21,4	3,2

BMI – wskaźnik masy ciała (ang. *body mass index*)

Zgoda zawierała klauzulę o możliwości zrezygnowania z udziału w badaniach na każdym etapie bez podawania przyczyny.

Przebieg badań

Dzień przed badaniami zawodniczki zostały zaznajomione z procedurą testu oddechowego pozwalającego określić maksymalne ciśnienie podczas wdechu i wydechu. Wykonano także pomiar składu ciała metodą elektrycznej bioimpedancji za pomocą analizatora Tanita InnerScan V, BC-601 (Tanita, Japonia). Zmierzono masę ciała (kg), BMI (ang. *body mass index*, kg/m²) i zawartość tkanki tłuszczowej (%). Nie było konieczności przeprowadzania sesji zapoznającej siatkarki z testami sprawności fizycznej, ponieważ wykonywały je one wcześniej wielokrotnie. Następnego dnia procedurę badań rozpoczęto od pomiaru maksymalnego ciśnienia wydechowego i wdechowego. Następnie badane wykonały 10-minutową rozgrzewkę indywidualną i po 5 min przerwy udały się do laboratorium na pomiar skoków CMJ (ang. *counter movement jump*). Po skokach i kolejnych 5 min przerwy wykonały test zwinności (Illinois). Po 5-minutowym odpoczynku zostały poddane testowi oceniającemu wytrzymałość mięśni odpowiedzialnych za stabilizację centralną (mięśni głębokich tułowia), składającemu się z trzech prób, taki jak: (1) podpór tułowia na przedramionach przodem, (2) podpór tułowia na przedramieniu bokiem – prawa strona, (3) podpór tułowia na przedramieniu bokiem – lewa strona. Między poszczególnymi próbami badane miały 5 min na odpoczynek.

Pomiar siły mięśni oddechowych

Siłę mięśni oddechowych sprawdzano za pomocą przenośnego urządzenia Airofit PRO (Airofit PRO A/S, Copenhagen, Denmark) i dedykowanej aplikacji na telefon. Airofit PRO służy do oceny i treningu mięśni oddechowych. Jest wyposażony w ustnik, czujnik ciśnienia i nadajnik Bluetooth przeznaczony do komunikacji z aplikacją, która jest niezbędna do przeprowadzenia badania i wizualizacji wyników. Airofit PRO pozwala zmierzyć maksymalne ciśnienie wydechowe (ang. *maximum expiratory pressure*, MEP) i maksymalne ciśnienie wdechowego (ang. *maximum inspiratory pressure*, MIP).

Pomiar MEP i MIP był realizowany zgodnie z instrukcją producenta urządzenia oraz zaleceniami European Respiratory Society (ERS) i American Thoracic Society (ATS). Osoba badana wykonywała go w pozycji siedzącej, obejmując ustami ustnik urządzenia. Na nosie miała założony klips uniemożliwiający oddychanie przez nos. Po sprawdzeniu, czy usta badanej szczelnie otaczają ustnik i czy jej język go nie zasłania rozpoczęto pomiar wydechu, a następnie wdechu. W czasie wydechu badana miała za zadanie wypuścić z całych sił wydychane powietrze do urządzenia (przez ustnik). Wynik pomiaru był natychmiast rejestrowany w aplikacji. W czasie wdechu badana musiała jak najmocniej wciągnąć powietrze do płuc (również przez ustnik). Każdej zawodniczce przysługiwały trzy próby przedzielone minutą przerwy. Do analizy brano wynik najlepszy (Stavrou i wsp., 2021).

Pomiar skoku CMJ

Pomiar skoku pionowego z miejsca z zamachem (CMJ) odbywał się na dwóch płytach sił reakcji podłoża (typ 9286A, Kistler Instrumente AG, Winterthur, Switzerland) z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego Noraxon MR 4.0.22. Skoki były poprzedzone 10-minutową indywidualną rozgrzewką obejmującą bieg z umiarkowaną intensywnością, bieg ze zmianą kierunku ruchu, dynamiczne ćwiczenia rozciągające, różne warianty skoków, ćwiczenia aktywizujące mięśnie kończyn dolnych. Po 5-minutowym odpoczynku zawodniczki przystępowały do wykonania skoku CMJ. Osoba badana stawiała na platformie w pozycji wyprostowanej, stopy na szerokość bioder, ręce na biodrach, wzrok skierowany przed siebie. Po zejściu do przysiadu (uda równoległe do podłoża) miała jak najszybciej

wykonać maksymalny skok pionowy, starając się unieść jak najwyżej (Gruszczyńska i wsp., 2025). Po wylądowaniu na podłoże mogła na komendę poprawić swoje położenie i wykonać ponowny skok. Procedurę powtarzano trzy razy. Do analizy wykorzystano wartości uzyskane z najwyższego skoku. Ocenie poddano następujące parametry: wysokość skoku (cm) liczoną na podstawie czasu lotu, szybkość narastania siły (N/s) (ang. *rate of force development*, RFD) oraz zmodyfikowany wskaźnik siły reaktywnej (m/s) (ang. *reactive strength index modified*, RSI_{mod}) liczony jako iloraz wysokości skoku i czasu do wybicia (ang. *time to takeoff*) (Ebben i Petushek, 2010).

Ocena zwinności

Do oceny zwinności wykorzystano test Illinois, który polega na jak najszybszym pokonaniu toru ze zmianą kierunku ruchu i slalomie między pachołkami. Dokładny opis testu i jego walidację można znaleźć w różnych opracowaniach (np. Hachana i wsp., 2013). Czas pokonania toru był rejestrowany za pomocą fotokomórek (Smart Speed System, Fusion Sport, USA) ustawionych na linii startu i mety (Pawlik i Mroczek, 2022).

Ocena wytrzymałości mięśni głębokich tułowia

Do oceny wytrzymałości mięśni głębokich tułowia wykonano trzy testy: (1) podpór tułowia na przedramionach przodem, (2) podpór tułowia bokiem na prawym przedramieniu, (3) podpór tułowia bokiem na lewym przedramieniu. W podporze przodem osoba badana podpierała się na przedramionach i stopach, łokcie pionowo pod barkami, przedramiona i palce skierowane do przodu, głowa w pozycji neutralnej w przedłużeniu tułowia, miednicy i kończyn dolnych (wszystkie punkty w jednej linii) (Tong i wsp., 2014). W podporze bokiem tułów należało oprzeć na stopie kończyny znajdującej się bliżej podłoża i na przedramieniu, w taki sposób, aby łokieć znajdował się pionowo pod barkiem, a stopy, kończyny dolne, miednica, tułów i głowa były ustawione w jednej linii. W każdym wariancie testu wynikiem był czas utrzymania stabilnej pozycji.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną wykonano w programie Statistica 13.3 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Dla wszystkich zmiennych wyliczono statystyki opi-

sowe, w tym wartości średnie ($\bar{x}$), odchylenia standardowe (SD) i 95% przedziały ufności (CI). Zgodność danych z rozkładem normalnym potwierdzono testem Shapiro–Wilka. Ewentualne związki między parametrami oddechowymi a parametrami sprawności fizycznej oceniono na podstawie współczynnika korelacji r Pearsona. Przyjęty poziom istotności statystycznej wynosił $\alpha < 0,05$.

WYNIKI

Statystyki opisowe wyników testu oddechowego i testów sprawności fizycznej przedstawiono w tabeli 2.

Istotne statystycznie korelacje obserwowano przede wszystkim między MEP a parametrami sprawności fizycznej (tab. 3). Wszystkie istotne statystycznie korelacje były dodatnie. Najwyższe wartości współczynnika korelacji stwierdzono pomiędzy MEP a wynikami prób podporu tułowia bokiem na prawym ($r = 0,68$; $p = 0,003$) i lewym ($r = 0,65$; $p = 0,005$) przedramieniu. Kolejne istotne statystycznie korelacje obserwowano między MEP a wysokością skoku CMJ ($r = 0,50$; $p = 0,040$) i RFD ($r = 0,60$; $p = 0,010$). Parametr MIP korelował istotnie statystycznie wyłącznie z wynikiem testu podporu bokiem, zarówno dla prawej ($r = 0,61$; $p = 0,010$), jak i lewej ($r = 0,55$; $p = 0,022$) strony. Nie stwierdzono istotnych statystycz-

Tabela 2. Statystyki opisowe parametrów oddechowych i sprawności fizycznej badanych

Zmienna	$\bar{x}$	SD	95% CI
MEP (cm H ₂ O)	92,7	28,4	78,1–107,4
MIP (cm H ₂ O)	85,4	20,8	74,8–96,1
Test zwinności (s)	17,7	0,90	17,2–18,1
Wysokość skoku CMJ (cm)	26,8	3,72	24,8–28,7
RFD (N/s)	10686,2	2340,8	9482,7–11889,7
RSI _{mod} (m/s)	0,30	0,056	0,28–0,33
Podpór przodem (s)	152,2	76,5	112,8–191,5
Podpór na prawym boku (s)	78,6	45,8	55,0–102,2
Podpór na lewym boku (s)	72,4	40,8	51,4–93,3

MEP – maksymalne ciśnienie wydechowe, MIP – maksymalne ciśnienie wdechowe
RFD – szybkość narastania siły, RSI_{mod} – zmodyfikowany wskaźnik siły reaktywnej

Tabela 3. Wartości współczynnika korelacji r Pearsona między parametrami oddechowymi (MEP i MIP) i parametrami sprawności fizycznej badanych

Zmienna	MEP		MIP	
	r Pearsona	p	r Pearsona	p
Test zwinności	-0,02	0,949	-0,12	0,645
Wysokość skoku CMJ	0,50	0,040	0,32	0,209
RFD	0,60	0,010	0,39	0,123
RSI _{mod}	0,48	0,053	0,23	0,367
Podpór przodem	0,08	0,751	0,16	0,549
Podpór bok prawy	0,68	0,003	0,61	0,010
Podpór bok lewy	0,65	0,005	0,55	0,022

MEP – maksymalne ciśnienie wydechowe, MIP – maksymalne ciśnienie wdechowe

nie związków między siłą mięśni oddechowych (MEP i MIP) a zwinnością zawodniczek, wynikiem testu podporu tułowia przodem oraz wskaźnikiem RSI_{mod}, chociaż warto zaznaczyć, że współczynnik korelacji r Pearsona między MEP i RSI_{mod} był blisko granicy istotności statystycznej ($r = 0,48$; $p = 0,053$).

DYSKUSJA

Celem niniejszych badań była analiza współzależności między parametrami siły mięśni oddechowych a wybranymi wskaźnikami sprawności fizycznej u 15–17-letnich siatkarek. Badania dostarczyły istotnych dowodów na istnienie korelacji pomiędzy siłą mięśni oddechowych a sprawnością fizyczną młodych siatkarek. Najbardziej znaczącym wynikiem okazała się duża zależność między siłą mięśni wydechowych (MEP) a stabilnością boczną tułowia oraz wynikami skoku, przy jednoczesnym braku związku z poziomem szybkości i zwinności.

Wykazano umiarkowaną, lecz istotną statystycznie zależność między MEP a wysokością CMJ oraz silną korelację z parametrami szybkości narastania siły (RFD). Chociaż w literaturze przedmiotu brakuje prac dotyczących związku MEP i CMJ, można odnaleźć autorów, którzy wykazali, że siła mięśni oddechowych wpływa na efektywność skoku pionowego. Ladriñán-Maestro i wsp. (2024) odnotowali na podstawie randomizowa-

nych badań z udziałem zdrowych młodych dorosłych, że zmęczenie mięśni wdechowych negatywnie wpływało na wyniki skoku pionowego, natomiast aktywacja tych mięśni poprawiała parametry biomechaniczne skoku. Wyniki cytowanych autorów oraz wyniki eksperymentu własnego sugerują, że silniejsze mięśnie oddechowe mogą wspierać generowanie siły eksplozywnej w skoku pionowym. Mechanizm ten można tłumaczyć rolą mięśni oddechowych w stabilizacji tułowia i kontroli ciśnienia śródbrzusznego. W badaniach własnych wykazano, że siła mięśni oddechowych wiązała się głównie z poprawą wyników podporu bokiem. Istnieje jednak wiele publikacji, które łączą trening mięśni oddechowych z mięśniami *core* i wskazują na poprawę wyniku w teście podporu tułowia przodem. Tong i wsp. (2016) odnotowali, że osoby wykonujące trening funkcjonalny łączący pracę mięśni oddechowych z mięśniami *core* uzyskały lepsze wyniki w teście podporu tułowia przodem, co wskazuje, że synergiczne połączenie ćwiczeń oddechowych z treningiem mięśni głębokich tułowia może wpływać pozytywnie na ich wytrzymałość. W projekcie własnym do poprawy jedynie wyników podporu bokiem mogła przyczynić się specyfika dyscypliny sportu, jaką uprawiały badane. Siatkówka w dużej mierze opiera się na ruchach rotacyjnych i bocznych, co wpływa na aktywację mięśni skośnych brzucha, które odpowiadają za stabilizację tułowia w czasie podporu bokiem (Youdas i wsp., 2014)

Po porównaniu wyników testu Illinois nie stwierdzono istotnej korelacji między siłą mięśni oddechowych a zwinnością. U badanych siatkarek zwinność wydaje się cechą całkowicie niezależną od siły mięśni oddechowych.

Podsumowując, siła mięśni wydechowych może być istotnie powiązana z wytrzymałością mięśni odpowiedzialnych za stabilizację tułowia w pozycji bocznej oraz poprawę parametrów skoku pionowego (CMJ) u młodych siatkarek. W świetle przedstawionych danych zasadne wydaje się rozważenie włączenia treningu mięśni oddechowych – zwłaszcza tych ukierunkowanego na komponent wydechowy – do programu przygotowania motorycznego w siatkówce. Kolejne badania interwencyjne powinny zweryfikować, czy celowany trening oporowy mięśni oddechowych prowadzi do realnej poprawy parametrów skoku, stabilizacji bocznej oraz efektywności gry u zawodniczek tej dyscypliny.

WNIOSKI

Obserwowane istotne statystycznie związki między siłą mięśni wydechowych a wytrzymałością mięśni głębokich tułowia (zwłaszcza skośnych brzucha), a także wysokością skoku CMJ i RFD sugerują, że silniejsze mięśnie wydechowe mogą mieć pozytywny wpływ na specyficzną sprawność fizyczną młodych siatkarzek.

BIBLIOGRAFIA

- Agostini, V., Chiaramello, E., Canavese, L., Bredariol, C., Knaflitz, M. (2013). Postural sway in volleyball players. *Human Movement Science*, 32(3), 445–56, <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.01.002>.
- Bonato, M., Capitani, M.C.D.E., Banfi, G. (2022). Agility training in volleyball. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 62(1), 56–64, <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.21.12084-5>.
- Clemens, M.W., Evans, K.E., Mardini, S., Arnold, P.G. (2011). Introduction to chest wall reconstruction: anatomy and physiology of the chest and indications for chest wall reconstruction. *Seminars in Plastic Surgery*, 25(1), 5–15, <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275166>.
- Curtis, J.A., Mocchetti, V., Rameau, A. (2024). Concurrent validity of a low-cost manometer for objective assessments of respiratory muscle strength. *Laryngoscope*, 134(4), 1831–1836, <https://doi.org/10.1002/lary.31106>.
- Dimitriadis, Z., Kapreli, E., Konstantinidou, I., Oldham, J., Strimpakos, N. (2011). Test/retest reliability of maximum mouth pressure measurements with the MicroRPM in healthy volunteers. *Respiratory Care*, 56(6), 776–782, <https://doi.org/10.4187/respcare.0078>.
- Ebben, W.P., Petushek, E.J. (2010) Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(8), 1983–1987, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e72466>.
- Fogliata, A., Silvestri, F., Marcelli, L., Gallotta, M.C., Curzi, D. (2025). How body-centering improves the effects of core stability training on the motor skills in adolescent female volleyball players. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 10(2), 144, <https://doi.org/10.3390/jfmk10020144>.
- Gruszczyńska, O., Grzechowiak, L., Reszka, A., Kaczor, M., Han, J., Gajewski, K., Pietrzak, E., Szafraniec, R. (2025) Związki między sztywnością ścięgna Achillesa i mięśnia brzuchatego łydki a parametrami skoku pionowego. [W:] M. Słowińska-Lisowska, K. Michalik (red.), *Problemy badawcze „Wokół człowieka” w świetle doniesień młodych naukowców* (ss. 266–279). Wrocław: AWF.
- Hachana, Y., Chaabène, H., Nabli, M.A., Attia, A., Moualhi, J., Farhat, N.N., Elloumi, M. (2013). Test-retest reliability, criterion-related validity, and minimal detectable change of the illinois agility test in male team sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2752–59, <https://doi.org/10.1519/jsc.0b013e3182890ac3>.

- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T.R., Coelho, J.D., Kyle, Freedman, K.D., Morton, T.A., Palmer, S.A., Toy, M.A., Walsh, C., Sheel, A.W., Reid, W.D. (2013). Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1643–1663, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f>.
- Keoliya, A.A., Ramteke, S.U., Boob, M.A., Somaiya, K.J. (2024). Enhancing volleyball athlete performance: a comprehensive review of training interventions and their impact on agility, explosive power, and strength. *Cureus*, 16(1), e53273, <https://doi.org/10.7759/cureus.53273>.
- Ladriñán-Maestro, A., Sánchez-Infante, J., Martín-Vera, D., Sánchez-Sierra, A. (2024). Influence of an inspiratory muscle fatigue protocol on healthy youths on respiratory muscle strength, vertical jump performance and muscle oxygen saturation: a randomized controlled trial. *Journal of Translational Medicine*, 22, 732, <https://doi.org/10.1186/s12967-024-05555-3>.
- Mueller, J., Hadzic, M., Mugele, H., Stoll, J., Mueller, S., Mayer, F. (2018). Effect of high-intensity perturbations during core-specific sensorimotor exercises on trunk muscle activation. *Journal of Biomechanics*, 70, 212–218, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.12.013>.
- Pawlik, D., Mroczek, D. (2022). Fatigue and training load factors in volleyball. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11149, <https://doi.org/10.3390/ijerph191811149>.
- Pilarski, J.Q., Leiter, J.C., Fregosi, R.F. (2019). Muscles of breathing: development, function, and patterns of activation. *Comprehensive Physiology*, 9(3), 1025–1080, <https://doi.org/10.1002/cphy.c180008>.
- Seo, H., Jeong, G., Chun, B. (2024). Impact of diaphragm-strengthening core training on postural stability in high-intensity squats. *Life*, 14(12), 1612, <https://doi.org/10.3390/life14121612>.
- Stavrou, V.T., Tourlakopoulos, K.N., Daniil, Z., Gourgoulisanis, K.I. (2021). Respiratory muscle strength: new technology for easy assessment. *Cureus*, 13(5), e14803, <https://doi.org/10.7759/cureus.14803>.
- Stokes, I.A., Gardner-Morse, M., Henry, S.M., Badger, G.J. (2000). Decrease in trunk muscular response to perturbation with preactivation of lumbar spinal musculature. *Spine*, 25(15), 1957–1964, <https://doi.org/10.1097/00007632-200008010-00015>.
- Szafranec, R., Barańska, J., Kuczyński, M. (2018). Acute effects of core stability exercises on balance control. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 20(3), 145–151.
- Tang, A., Bordoni, B. (2023). *Anatomy, Thorax, Muscles*. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Tong, T.K., Wu, S., Nie, J. (2014) Sport-specific endurance plank test for evaluation of global core muscle function. *Physical Therapy in Sport*, 15(1), 58–63, <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.03.003>.
- Tuncer, D., Gurses, H. N. (2024). The effects of core stabilization exercises on respiratory muscle strength, respiratory functions, and postural control in

- children with hearing loss: a randomized controlled trial. *Ear and Hearing*, 45(2), 306–315, <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001428>.
- Willardson, J.M. (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 979–985.
- Youdas, J.W., Boor, M.M., Darfler, A.L., Koenig, M.K., Mills, K.M., Hollman, J.H. (2014). Surface electromyographic analysis of core trunk and hip muscles during selected rehabilitation exercises in the side-bridge to neutral spine position. *Sports Health*, 6(5), <https://doi.org/10.1177/1941738114539266>.
- Zemková, E., Zapletalová, L. (2022). The role of neuromuscular control of postural and core stability in functional movement and athlete performance. *Frontiers in Physiology*, 13, 796097, <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.796097>.

ABSTRACT

Relationships between respiratory muscle strength and physical fitness
in female volleyball players aged 15–17 years

Introduction. The study was designed to assess the relationships between respiratory muscle strength and trunk core muscle endurance, vertical jump parameters and agility in female volleyball players. **Material.** The study included 17 female volleyball players aged 15–17 years, each with a minimum of 3 years of training experience. **Methods.** Maximum expiratory pressure (MEP) and maximum inspiratory pressure (MIP) were measured using the Airofit device and a dedicated application. Motor performance parameters were assessed using a battery of tests comprising (1) the countermovement jump (CMJ), in which jump height, rate of force development (RFD) and a modified reactive strength index were measured; (2) agility (Illinois test); and (3) trunk core muscle endurance (duration of maintaining front and side plank positions). Pearson's correlation coefficient (r) was employed to assess potential associations between respiratory muscle strength and physical fitness parameters. **Results.** The highest correlation coefficients were observed between MEP and performance in side plank tests on the right ($r = 0.68$; $p = 0.003$) and left ($r = 0.65$; $p = 0.005$) forearm, as well as between MEP and CMJ jump height ($r = 0.50$; $p = 0.040$) and RFD ($r = 0.60$; $p = 0.010$). The MIP parameter showed statistically significant correlations exclusively with side plank performance, for both the right ($r = 0.61$; $p = 0.010$) and left ($r = 0.55$; $p = 0.022$) sides. **Conclusions.** The statistically significant associations observed between expiratory muscle strength and trunk core endurance (especially the abdominal oblique muscles), as well as CMJ jump height and RFD, suggest that stronger expiratory muscles may positively influence the specific physical performance of young female volleyball players. **Keywords:** maximal expiratory pressure, countermovement jump (CMJ), RFD, RSI_{mod} , Illinois test, trunk core muscles

JAKUB MALIK, MIKOŁAJ WIECZOREK,
DARIUSZ MROCZEK, KAMIL MICHALIK

Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
SKN Sport Performance

DOKŁADNOŚĆ ODTWARZANIA SUBMAKSYMALNYCH PRĘDKOŚCI BIEGU ORAZ JEJ ZWIĄZKI Z WYBRANYMI WSKAŹNIKAMI FUNKCJI NERWOWO-MIĘŚNIOWEJ U AKTYWNYCH FIZYCZNIE MĘŻCZYZN

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena dokładności odtwarzania narzuconych intensywności prędkości biegu (50%, 70% i 90% $v_{\max}$) u aktywnych fizycznie mężczyzn oraz określenie związku między poziomem funkcji nerwowo-mięśniowej diagnozowanej za pomocą skoków wertykalnych i maksymalnej prędkości biegu a wielkością błędu względnego i bezwzględnego odwzorowania prędkości biegu. **Materiał.** W badaniu wzięło udział 24 zdrowych, aktywnych fizycznie mężczyzn (wiek $19,9 \pm 1,8$ roku). **Metody.** Podczas testów na bieżni zmierzono maksymalną prędkość biegu ($v_{\max}$) oraz wykonano, w losowej kolejności, próby odwzorowania zadanej prędkości (50%, 70% i 90% $v_{\max}$) na dystansie 20 m z 30-metrowego nabiegu. Mierzono również wysokość skoku z przysiadu z zamachem oraz wskaźnik siły reaktywnej. **Wyniki.** Badani skutecznie różnicowali prędkość biegu zgodnie z poziomem zadanej intensywności. Największy błąd szacowania prędkości i błąd względny zarejestrowano przy 50% $v_{\max}$, natomiast najwyższą dokładność odnotowano dla 90% $v_{\max}$. Zaobserwowano tendencję do przeszacowywania prędkości, zwłaszcza przy niskiej intensywności wysiłku. Dodatkowo ustalono, że osoby o wyższych zdolnościach szybkościowo-siłowych wykazywały większy błąd odwzorowania subiektywnej prędkości przy wysokiej intensywności. **Wnioski.** Dokładność odtwarzania prędkości biegu zależy od poziomu intensywności wysiłku i jest najmniejsza w przypadku niskich prędkości, czemu towarzyszy tendencja do przeszacowywania prędkości. W treningu oraz diagnostyce sportowej należy uwzględnić kontrolę tempa biegu.

Słowa kluczowe: kinestezja, propriocepcja, czucie prędkości biegu, sprint, prędkość biegu, błąd odtwarzania

WPROWADZENIE

Z perspektywy praktyki sportowej duże znaczenie ma możliwość zbadań czucia kinestetycznego w sposób mierzalny. W literaturze przedmiotu wskazuje się, że propriocepcja i kinestezja przejawiają się w trzech powiązanych ze sobą wymiarach: przestrzennym, siłowym oraz tempo-

ralnym (Bańkosz i Szumielewicz, 2014). Dobrze udokumentowane są zdolności związane z odtwarzaniem położenia segmentów ciała oraz poziomu generowanej siły, natomiast znacznie mniej uwagi poświęcono zdolności do precyzyjnego odtwarzania parametrów czasowych ruchu. W konsekwencji, mimo że kinestezja jako całość jest szeroko opisana, jej wymiar temporalny, zwłaszcza w odniesieniu do lokomocji, pozostaje relatywnie słabiej eksplorowany.

Dotychczasowe badania wskazują, że kinestezja odgrywa ważną rolę w jakości sterowania ruchem poprzez integrację informacji o napięciu mięśniowym, prędkości ruchu oraz położeniu segmentów ciała (Szczepan i wsp., 2020b). W praktyce sportowej przejawia się to zdolnością do powtarzalnego odtwarzania parametrów wykonania ruchu, takich jak tempo czy poziom siły. Wiadomo również, że dokładność regulacji ruchu może być modyfikowana przez dostępność informacji zwrotnej oraz warunki sensoryczne (Szczepan i wsp., 2018b). Dostępne prace koncentrują się jednak głównie na zadaniach laboratoryjnych opartych na izolowanych ruchach czy kontrolowanych próbach motorycznych, co ogranicza możliwość bezpośredniego odniesienia wyników do lokomocji biegowej w warunkach terenowych.

W sportach cyklicznych zastosowanie informacji zwrotnej wpływa na kontrolę prędkości oraz parametry techniczne ruchu, co wskazuje na rolę mechanizmów percepcyjno-motorycznych w procesie skalowania intensywności (Szczepan i wsp., 2018a; Zatoń i Szczepan, 2014). Oznacza to, że zawodnik jest w stanie regulować tempo ruchu na podstawie informacji sensorycznych. Brakuje jednak badań analizujących, na ile regulacja ta jest możliwa w warunkach pozbawionych zewnętrznej informacji zwrotnej, zwłaszcza w odniesieniu do biegu, który stanowi podstawową formę lokomocji w wielu dyscyplinach sportu.

W przypadku biegu zagrożenie to nabiera szczególnego znaczenia, ponieważ kontrola tempa biegu stanowi kluczowy element zarówno treningu, jak i rywalizacji. Regulacja intensywności wysiłku często opiera się na subiektywnym odczuciu prędkości poruszania się, jednak dokładność tego procesu w warunkach terenowych nie została jednoznacznie określona. Jednocześnie wiadomo, że percepcja prędkości lokomocji wynika z integracji bodźców wzrokowych i somatosensorycznych (Caramenti i wsp., 2019), a także że czynniki proceduralne, takie jak technika startu czy długość nabiegu, mogą wpływać na wartości prędkości (Altmann i wsp., 2015). Ocena zdolności do regulowania tempa biegu wymaga zatem nie

tylko pomiaru samej prędkości, ale również ścisłej standaryzacji warunków badania.

Odrębnym zagadnieniem jest także potencjalny wpływ poziomu intensywności ruchu na dokładność odtwarzania jego prędkości. Badania neurofizjologiczne wskazują, że układ nerwowy wykazuje ograniczoną zdolność do precyzyjnego sterowania bardzo wolnymi ruchami (Park i wsp., 2017), a dokładność informacji proprioceptywnej może się zmniejszać przy niskiej dynamice ruchu (Han i wsp., 2016). Zależność między poziomem intensywności a dokładnością odtwarzania prędkości nie została jednak jednoznacznie określona w odniesieniu do lokomocji biegowej, zwłaszcza w zadaniach wymagających odtwarzania submaksymalnych prędkości biegu odnoszonych do indywidualnej prędkości maksymalnej.

Kolejnym aspektem jest rola czynników nerwowo-mięśniowych w regulacji tempa ruchu. Wiadomo, że zdolność do generowania mocy oraz wykorzystania cyklu rozciągnięcie-skurcz (ang. *stretch shortening cycle*, SSC) odgrywa ważną rolę w osiąganiu efektywności biegu (Llanos-Lagos i wsp., 2024), a wskaźniki, takie jak skok pionowy z zamachem, skok z przysiadu, wskaźnik wykorzystania komponentu ekscentrycznego wyrażony jako stosunek wysokości skoku z zamachem do skoku z przysiadu czy indeks siły reaktywnej, odzwierciedlają zdolność do szybkiej produkcji siły oraz efektywnego wykorzystania SSC (Jarvis i wsp., 2022; Ramirez-Campillo i wsp., 2023). Nie jest jednak jasne, czy wyższy poziom tych zdolności przekłada się na większą precyzję regulacji submaksymalnych intensywności ruchu czy też stanowi odrębny komponent zdolności sensomotorycznych warunkujących kontrolę i regulację parametrów ruchu.

Można stwierdzić wyraźną lukę badawczą dotyczącą zdolności do odtwarzania submaksymalnych prędkości biegu w warunkach terenowych oraz czynników ją warunkujących.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena dokładności odtwarzania narzuconych intensywności prędkości biegu (50%, 70% i 90% $v_{\max}$) u aktywnych fizycznie mężczyzn oraz określenie związku między poziomem funkcji nerwowo-mięśniowej diagnozowanej za pomocą skoków wertykalnych i maksymalnej prędkości biegu a wielkością błędu względnego i bezwzględnego odwzorowania prędkości biegu.

MATERIAŁ I METODY

Badania zostały zatwierdzone przez Komitet Etyki Badań przy Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (nr decyzji 9/2025) i przeprowadzone zgodnie z Deklaracją Helsińską.

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 24 zdrowych, aktywnych fizycznie mężczyzn (studentów Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu), którzy zgłosili się do projektu na ochotnika. Każdy z nich deklarował podejmowanie regularnej aktywności fizycznej oraz uczestnictwo w zajęciach praktycznych w AWF: siłownia, siatkówka, piłka nożna, bieganie. O włączeniu do badań decydowały takie kryteria, jak: (1) wykonywanie wysiłków sprinterskich podczas aktywności fizycznej, (2) umiejętność wykonania skoku pionowego. Kryteriami wykluczenia były: (1) przebyty uraz kończyn dolnych w okresie trzech miesięcy poprzedzających badania, (2) profesjonalny trening biegów długodystansowych. Wszyscy mężczyźni zakwalifikowani do eksperymentu zostali zapoznani z procedurą badań oraz udzielili pisemnej, świadomej zgody na udział w nich.

Tabela 1. Charakterystyka badanych (n = 24)

Zmienne	$\bar{x} \pm SD$
Wiek (lata)	19,9 ± 1,8
Wysokość ciała (cm)	182,7 ± 6,8
Masa ciała (kg)	79,5 ± 13,6
Aktywność fizyczna (ile razy/tydzień)	5 ± 2
Aktywność fizyczna (godzin/tydzień)	10,8 ± 3,9
v_{max} (m/s)	7,7 ± 0,9
SJ (cm)	33,7 ± 8,8
CMJ (cm)	37,1 ± 9,8
EUR (AU)	1,10 ± 0,09
RSI (AU)	1,6 ± 0,7

v_{max} – maksymalna prędkość biegu, SJ – skok z przysiadu (ang. *squat jump*)
CMJ – skok z zamachem (ang. *countermovement jump*), EUR – *eccentric utilization ratio* RSI – indeks siły reaktywnej (ang. *reactive strength index*)

Wielkość próby określono a priori za pomocą oprogramowania G*Power 3.1 (Kolonia, Niemcy) (Faul i wsp., 2007). Minimalna wymagana wielkość próby dla efektu f Cohena 0,8, poziomu 0,05 i mocy testu $(1-\beta)$ 0,9 wyniosła 24 osoby. Szczegółową charakterystykę uczestników badań przedstawiono w tabeli 1.

Projekt badań

Badania przeprowadzono w schemacie dwuetapowym, obejmującym dwie sesje pomiarowe rozdzielone przerwą regeneracyjną trwającą co najmniej 72 godziny. Przed rozpoczęciem procedur badawczych wszyscy badani zostali poinformowani o celu i przebiegu eksperymentu oraz wyrazili pisemną zgodę na udział w nim. Następnie każdy badany wypełnił standaryzowany kwestionariusz dotyczący poziomu jego aktywności fizycznej oraz historii treningowej, zebrano także dane dotyczące wieku oraz wysokości i masy ciała. Badani zostali poproszeni o unikanie intensywnego wysiłku fizycznego w ciągu 24 godzin poprzedzających każdą sesję pomiarową. Wszystkie pomiary przeprowadzano o zbliżonej porze dnia, tak aby ograniczyć wpływ rytmu dobowego na wyniki.

Ocena prędkości maksymalnej i dokładności odtwarzania prędkości submaksymalnej

Pierwsza sesja badawcza obejmowała ocenę maksymalnej prędkości biegu ($v_{\max}$) oraz próbę odtwarzania zadanych intensywności tempa biegu. Próba odbywała się na bieżni stadionu lekkoatletycznego w sprzyjających warunkach atmosferycznych. Po zebraniu danych podstawowych uczestnicy projektu zostali poddani ustandaryzowanej rozgrzewce obejmującej ćwiczenia statyczno-dynamiczne w celu ograniczenia wpływu różnic w przygotowaniu do wysiłku na wyniki prób szybkościowych (Bishop, 2003). W celu wyznaczenia $v_{\max}$ biegu przeprowadzono sprint na dystansie 20 m z 30-metrowym nabiegiem. Każdy badany miał do wykonania dwie próby. Do dalszej analizy przyjęto lepszy wynik. Do pomiaru czasu wykorzystano elektroniczne fotokomórki Witty (Microgate, Włochy). Pierwsza bramka pomiarowa była ustawiona na linii 30 m od miejsca startu, druga na linii oddalonej o 50 m, co dało odcinek o długości 20 m. Czas przebiegu odcinka był rejestrowany automatycznie w momencie przecięcia przez badanego wiązki podczerwieni.

Po wyznaczeniu wartości $v_{\max}$ uczestnicy projektu wykonywali w losowej kolejności trzy próby biegu na dystansie 20 m. Dla każdego badanego określono zadaną prędkość biegu ($v\text{-zad}$), która stanowiła 50%, 70% i 90% wartości indywidualnej prędkości maksymalnej uzyskanej w teście szybkości (kolejno: $v\text{-zad}_{50\%}$, $v\text{-zad}_{70\%}$, $v\text{-zad}_{90\%}$). Na podstawie czasu biegu obliczono rzeczywistą prędkość biegu ($v\text{-rzecz}$), którą dla danego zadania (50%, 70%, 90% $v_{\max}$), wykonywanego w losowej kolejności, określono analogicznie: $v\text{-rzecz}_{50\%}$, $v\text{-rzecz}_{70\%}$, $v\text{-rzecz}_{90\%}$. Na tej podstawie dla każdego warunku obliczono:

- (1) błąd bezwzględny (m/s) = $|v\text{-rzecz} - v\text{-zad}|$
- (2) błąd względny (%) = $|v\text{-rzecz} - v\text{-zad}| / v\text{-zad} * 100$
- (3) błąd kierunkowy (podany jako liczba osób – n):

W – wolniej, S – szybciej.

Kolejność intensywności biegu była losowana indywidualnie dla każdego badanego za pomocą generatora na stronie internetowej (random.org). Pomiedzy kolejnymi próbami stosowano pasywną przerwę wypoczynkową trwającą co najmniej 5 min, umożliwiającą utrzymanie wysokiej jakości wykonania zadania. Próby biegowe badani rozpoczynali z pozycji stojącej, z ustalonego miejsca startowego. Było to podyktowane koniecznością ograniczenia wpływu różnic w ustawieniu startowym na wyniki. Ustawienie fotokomórek oraz procedura startowa pozostawały identyczne we wszystkich próbach, co zapewniało porównywalność warunków pomiarowych.

Ocena funkcji nerwowo-mięśniowej

Druga sesja badawcza została przeprowadzona po minimum 72 godzinach i obejmowała ocenę zdolności skocznościowych oraz parametrów reaktywności neuromięśniowej kończyn dolnych. Pomiarzy przeprowadzono za pomocą systemu OptoGait (Microgate, Włochy) umożliwiającego rejestrację czasu kontaktu stopy z podłożem oraz czasu lotu. Każdy badany miał do wykonania dwie próby skoku z przysiadu (ang. *squat jump*, SJ), dwie próby skoku z zamachem (ang. *countermovement jump*, CMJ) oraz dwie serie pięciu kolejnych skoków typu *pogo jump*. Skok SJ rozpoczynano z pozycji statycznej i wykonywano z zatrzymaniem w dolnej fazie ruchu w celu wyeliminowania efektu cyklu rozciągnięcie–skurcz. Skok CMJ wykonywano w sposób ciągły, z naturalnym ruchem ekscentryczno-koncentrycznym. Zadanie pięciu skoków *pogo jump* polegało na

serii szybkich, rytmicznych odbić z zachowaniem minimalnego czasu kontaktu z podłożem oraz maksymalnej intencji ruchu wertykalnego przy utrzymaniu dominującej pracy w stawie skokowym. Na podstawie zarejestrowanych parametrów obliczano indeks siły reaktywnej (ang. *reactive strength index*, RSI) wyrażony jako iloraz wysokości skoku i czasu kontaktu z podłożem. Do dalszej analizy posłużyły najlepsze wyniki z dwóch prób każdej formy skoków.

Analiza statystyczna

Do opracowania statystycznego danych użyto programu IBM SPSS Statistics wersja 26 (IBM, Inc., Chicago, USA). Do oceny normalności rozkładu badanych cech zastosowano test Shapiro–Wilka, a jednorodność wariancji oceniono testem Levene’a. Do porównania wartości rzeczywistej prędkości oraz błędu bezwzględnego i względnego odwzorowania prędkości pomiędzy trzema poziomami intensywności biegu (50%, 70% i 90% $v_{\max}$) posłużył test Friedmana jako nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji z powtarzanym pomiarem. W przypadku uzyskania istotnego efektu głównego przeprowadzono analizy post hoc z wykorzystaniem testu rangowanych znaków Wilcozona dla prób zależnych, z korektą poziomu istotności metodą Holma. Wielkość efektu dla testu Friedmana określono na podstawie współczynnika zgodności Kendalla (W), interpretowanego zgodnie z przyjętymi kryteriami ($W = 0,1$ – mały, $W = 0,3$ – umiarkowany, $W \geq 0,5$ – duży efekt). Zależności pomiędzy wartościami rzeczywistej prędkości oraz wskaźnikami błędu odwzorowania prędkości a wskaźnikami funkcji nerwowo-mięśniowej, ocenianymi na podstawie testów skocznościowych, określono za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana. Za istotny statystycznie przyjęto poziom $p \leq 0,05$.

WYNIKI

Zadana prędkość wynosiła średnio kolejno: $3,8 \pm 0,4$ (m/s) dla $v_{50\%}$, $5,4 \pm 0,6$ (m/s) dla $v_{70\%}$ i $6,9 \pm 0,8$ (m/s) dla $v_{90\%}$. Wykazano istotne statystycznie różnice w zakresie rzeczywistej prędkości biegu wyrażonej w wartościach bezwzględnych (m/s) między trzema poziomami intensywności zadania (50%, 70% i 90% $v_{\max}$), co potwierdzono za pomocą testu Friedmana [$\chi^2(2) = 44,33$; $p < 0,001$] (tab. 2). Wielkość efektu była bardzo duża, o czym świadczy wysoka wartość współczynnika zgodności Ken-

Tabela 2. Wybrane wskaźniki dla zadań na poziomie 50%, 70 % i 90% $v_{\max}$

Zmienna	$v_{50\%}$ ($\bar{x} \pm SD$)	$v_{70\%}$ ($\bar{x} \pm SD$)	$v_{90\%}$ ($\bar{x} \pm SD$)
v -rzecz (m/s)	$5,2 \pm 0,9^b$	$6,2 \pm 1,0^a$	$7,0 \pm 1,0^{ab}$
v -rzecz względna (%)	$67,3 \pm 9,9^b$	$81,1 \pm 9,3^a$	$91,8 \pm 5,5^{ab}$
Błąd bezwzględny (m/s)	$1,3 \pm 0,8^b$	$0,8 \pm 0,7^a$	$0,1 \pm 0,4^{ab}$
Błąd względny (%)	$17,3 \pm 9,9^b$	$11,0 \pm 9,3^a$	$1,8 \pm 5,5^{ab}$
Błąd kierunkowy (n)			
S	24	20	18
W	0	4	6

v -rzecz – prędkość rzeczywista wyrażona w wartościach bezwzględnych (m/s)

v -rzecz względna – względna prędkość wyrażona jako odsetek maksymalnej prędkości

S – szybciej, W – wolniej

^a istotna różnica pomiędzy $v_{50\%}$, ^b istotna różnica pomiędzy $v_{70\%}$

dalla ($W = 0,92$) wskazująca na niemal pełną zgodność rang między warunkami. Analiza wykazała również istotne statystycznie różnice w rzeczywistej prędkości biegu wyrażonej jako procent prędkości maksymalnej pomiędzy trzema testowanymi warunkami. Test Friedmana potwierdził efekt główny intensywności zadania [$\chi^2(2) = 44,33$; $p < 0,001$] przy jednocześnie bardzo dużej wielkości efektu (współczynnik zgodności Kendalla $W = 0,92$). Wysoka wartość współczynnika W wskazuje na niemal pełną zgodność rang pomiędzy warunkami, co potwierdza wniosek, że badani skutecznie różnicowali poziomy względnej intensywności biegu zgodnie z założeniami protokołu badawczego. Na podstawie analizy post hoc z wykorzystaniem testu Wilcoxona stwierdzono, że v -rzecz różniła się istotnie między testowanymi warunkami (50% vs 70%; 50% vs 90% oraz 70% vs 90%) (wszystkie $p < 0,001$) i była najwyższa dla $v_{90\%}$, a najniższa dla $v_{50\%}$. Podobne wyniki uzyskano dla względnej rzeczywistej prędkości ($p < 0,001$). Test Friedmana pozwolił wykazać, że błąd bezwzględny odwzorowania prędkości różnił się istotnie między poziomami intensywności biegu [$\chi^2(2) = 26,08$; $p < 0,001$; $W = 0,54$]. Również błąd względny różnił się istotnie [$\chi^2(2) = 26,08$; $p < 0,001$] przy jednocześnie dużej wielkości efektu ($W = 0,54$). Analiza post hoc z wykorzystaniem testu Wilcoxona wykazała istotnie większy błąd bezwzględny odwzorowania prędkości podczas biegu z intensywnością 50% $v_{\max}$ w porównaniu z 70% ($p < 0,05$) oraz 90% ($p <$

Tabela 3. Macierz korelacji rang Spearmana pomiędzy wynikami testów skoczności oraz prędkości maksymalnej a poziomem błędu bezwzględnego i względnego dla trzech testowanych warunków

Zmienna	Prędkość	$v_{\max}$	SJ	CMJ	EUR	RSI
Błąd bezwzględny	50% $v_{\max}$	-0,05	-0,17	-0,13	0,14	0,30
	70% $v_{\max}$	0,25	-0,01	0,01	0,19	0,04
	90% $v_{\max}$	0,51 *	0,39	0,43 *	0,06	0,01
Błąd względny	50% $v_{\max}$	-0,17	-0,24	-0,20	0,14	0,31
	70% $v_{\max}$	-0,01	-0,13	-0,13	0,17	-0,02
	90% $v_{\max}$	0,42 *	0,34	0,37	0,00	-0,04

$v_{\max}$ – maksymalna prędkość biegu, SJ – *squat jump*, CMJ – *countermovement jump*

EUR – *eccentric utilization ratio*, RSI – *reactive strength index*

* korelacja istotna na poziomie $p \leq 0,05$

0,001). Z kolei błąd bezwzględny dla prędkości 90% $v_{\max}$ okazał się niższy niż dla 70% ($p < 0,001$). Takie same poziomy istotności odnotowano w przypadku błędu względnego, który był najwyższy dla intensywności 50% $v_{\max}$, a najniższy dla 90% $v_{\max}$.

Analizując dane dotyczące błędu kierunkowego, ustalono, że badani we wszystkich warunkach częściej osiągalili prędkość wyższą od zadanej niż niższą. Przy intensywności 50% $v_{\max}$ badani (100%) przekraczali wartość zadaną. W warunkach 70% $v_{\max}$ i 90% $v_{\max}$ tendencja do przeszacowania prędkości była nadal obecna, jednak jej nasilenie malało wraz ze wzrostem intensywności zadania (83% i 75%, odpowiednio dla 70% $v_{\max}$ i 90% $v_{\max}$).

Wykazano istotną dodatnią korelację rang Spearmana pomiędzy maksymalną prędkością biegu a błędem bezwzględnym i względnym dla intensywności 90% $v_{\max}$. W przypadku tej intensywności biegu odnotowano również istotną dodatnią korelację pomiędzy wysokością skoku CMJ a wielkością błędu bezwzględnego (tab. 3).

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowaną dokładność odtwarzania submaksymalnych prędkości biegu w zależności od poziomu intensywności wysiłku. Analiza błędu kierunkowego wykazała, że badani we wszystkich warunkach częściej osiągalili prędkość wyższą od zadanej niż niższą,

co wskazuje na systematyczną tendencję do przeszacowywania tempa biegu. Zjawisko to było szczególnie nasilone przy niższych intensywnościach, natomiast jego skala malała wraz ze wzrostem prędkości. Sugeruje to, że kinestetyczna regulacja tempa biegu nie ma charakteru jednorodnego, lecz zależy od poziomu generowanej prędkości oraz specyfiki zadania ruchowego. Podobne zależności opisywano w badaniach nad kontrolą ruchu, w których podkreślano, że dokładność regulacji parametrów ruchu jest silnie uzależniona od warunków wykonania oraz charakterystyki zadania (Szczepan i wsp., 2018b).

Zróznicowanie dokładności odtwarzania prędkości biegu w zależności od intensywności można interpretować w świetle badań wskazujących na ograniczoną zdolność układu nerwowego do precyzyjnego sterowania ruchami o niskiej dynamice (Park i wsp., 2017) oraz zmniejszoną dokładność informacji proprioceptywnej przy niskiej prędkości ruchu (Han i wsp., 2016). W tym ujęciu mniejsza dokładność odtwarzania prędkości biegu przy niższych intensywnościach może wynikać z mniejszej intensywności sygnałów sensorycznych oraz ograniczonej aktywacji układu nerwowo-mięśniowego, co utrudnia precyzyjne skalowanie ruchu. Z kolei przy wyższych prędkościach biegu większa intensywność bodźców mechanicznych i sensorycznych może sprzyjać dokładniejszej regulacji tempa biegu, co jest zgodne z doniesieniami wskazującymi na poprawę kontroli ruchu wraz ze wzrostem intensywności sygnałów aferentnych (Szczepan i wsp., 2020a).

Istotnym elementem interpretacji uzyskanych wyników jest brak zewnętrznej informacji zwrotnej po wykonanej próbie odnośnie do dokładności odtworzenia prędkości intensywności biegu podczas realizacji zadania. Szczepan i wsp. (2018b) oraz Zatoń i Szczepan (2014) wykazali, że dostępność informacji wizualnej i sensorycznej wpływa na dokładność regulacji prędkości oraz parametrów technicznych ruchu. Oznacza to, że w warunkach ograniczonej informacji zwrotnej regulacja tempa biegu opiera się w większym stopniu na mechanizmach wewnętrznych. Wyniki badań własnych pozwalają stwierdzić, że mechanizmy te umożliwiają kontrolę intensywności wysiłku, jednak ich dokładność zależy od poziomu prędkości biegu.

W kontekście czynników nerwowo-mięśniowych nie zaobserwowano istotnej zależności pomiędzy zdolnościami skocznościowymi a dokładnością odtwarzania prędkości biegu. Llanos-Lagos i wsp. (2024) podkreślają istotną rolę zdolności do generowania mocy oraz wykorzystania cyklu rozciągnięcie-skurcz w poprawie efektywności biegu, jednak zależności te

odnoszą się głównie do parametrów mechanicznych i ekonomii ruchu. Brakuje natomiast badań analizujących ich bezpośredni związek z dokładnością regulacji submaksymalnych intensywności wysiłku, co może sugerować, że zdolności te stanowią odrębny komponent zdolności sensomotorycznych warunkujących kontrolę i regulację parametrów ruchu.

Uzyskane wyniki mają istotne implikacje praktyczne. W treningu biegowym regulacja intensywności wysiłku często opiera się na subiektywnym odczuciu tempa biegu. Dotyczy to zwłaszcza biegów średnio- i długodystansowych, w których znaczna część jednostek treningowych jest realizowana na poziomie submaksymalnych intensywności. Wyniki niniejszego projektu wskazują, że dokładność tej regulacji zależy od poziomu intensywności, co może prowadzić do odchyień od założeń treningowych. Wskazuje to na zasadność stosowania obiektywnych metod kontroli intensywności, zwłaszcza w zakresie niższych prędkości biegu.

OGRANICZENIA I PERSPEKTYWY DALSZYCH BADAŃ

Mimo że pomiary były przeprowadzone w warunkach terenowych, co zwiększa wartość aplikacyjną, nie można całkowicie wykluczyć wpływu czynników środowiskowych. Dodatkowo zastosowany protokół obejmował określone poziomy intensywności wysiłku, co ogranicza możliwość uogólnienia wyników na inne zakresy prędkości biegu oraz na grupy badanych o odmiennym poziomie wytrenowania i specjalizacji sportowej. W świetle uzyskanych wyników zasadne jest prowadzenie dalszych badań nad dokładnością odtwarzania zadanych prędkości biegu, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu poziomu wytrenowania oraz roli informacji sensorycznej w kontroli ruchu. Istotnym kierunkiem analiz jest także określenie, czy zdolność do odtwarzania prędkości może być rozwijana w procesie treningowym oraz czy stanowi czynnik różnicujący poziom sportowy zawodników. Kolejnym istotnym obszarem badawczym jest analiza strategii biomechanicznych stosowanych przez zawodników przy różnych intensywnościach wysiłku. Uwzględnienie takich parametrów, jak długość kroku, kadencja czy postawa ciała może pozwolić na określenie zależności między zmianami wzorca ruchowego a dokładnością odtwarzania tempa biegu.

WNIOSKI

Dokładność odtwarzania zadanej prędkości biegu zależy od poziomu intensywności wysiłku i jest najniższa przy niskiej prędkości ($50\% v_{\max}$), czemu towarzyszy stała tendencja do przeszacowywania tempa. Osoby o wyższych zdolnościach szybkościowo-siłowych wykazują większy błąd bezwzględny i względny przy intensywności $90\% v_{\max}$, co może wskazywać na trudności w precyzyjnym skalowaniu bardzo wysokich submaksymalnych intensywności. Zdolność do precyzyjnego odtwarzania zadanej prędkości biegu nie jest prostą funkcją poziomu zdolności szybkościowo-siłowych, lecz może stanowić względnie odrębny komponent funkcjonowania sensomotorycznego. Równoległa analiza błędu bezwzględnego i względnego stanowi użyteczne narzędzie oceny jakości kontroli tempa i pozwala na pełniejszą charakterystykę zdolności autoregulacji intensywności wysiłku.

BIBLIOGRAFIA

- Altmann, S., Hoffmann, M., Kurz, G., Neumann, R., Woll, A., Haertel, S. (2015). Different starting distances affect 5-m sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2361–2366, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000865>.
- Bańkosz, Z., Szumielewicz, P. (2014). Proprioceptive ability of fencing and table tennis practitioners. *Human Movement*, 15(3), 128–133, <https://doi.org/10.1515/humo-2015-0001>.
- Bishop D. (2003). Warm-up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Medicine*, 33(6), 439–454, <https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00005>.
- Caramenti, M., Pretto, P., Lafortuna, C.L., Bresciani, J.-P., Dubois, A. (2019). Influence of the size of the field of view on visual perception while running in a treadmill-mediated virtual environment. *Frontiers in Psychology*, 10, 2344, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02344>.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191, <https://doi.org/10.3758/bf03193146>.
- Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: a critical review of methods. *Journal of Sport and Health Science*, 5(1), 80–90, <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.10.004>.
- Jarvis, P., Turner, A., Read, P., Bishop, C. (2022). Reactive strength index and its associations with measures of physical and sports performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 52(2), 301–330, <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01566-y>.

- Llanos-Lagos, C., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., Sáez de Villarreal, E. (2024). Effect of strength training programs in middle- and long-distance runners' economy at different running speeds: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 54(4), 895–932, <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01978-y>.
- Park, S.-W., Marino H., Charles, S.K., Sternad D., Hogan, N. (2017). Moving slowly is hard for humans: limitations of dynamic primitives. *Journal of Neurophysiology*, 118(1), 69–83, <https://doi.org/10.1152/jn.00643.2016>.
- Ramirez-Campillo, R., Thapa, R.K., Afonso, J., Perez-Castilla, A., Bishop, C., Byrne, P. J., Granacher, U. (2023). Effects of plyometric jump training on the reactive strength index in healthy individuals across the lifespan: a systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 53(5), 1029–1053, <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01825-0>.
- Szczepan, S., Błacha, R., Brożek, T., Zatoń, K. (2020a). Seasonal changes in force production accuracy as a measure of kinesthesia in motorcyclists. *Human Movement*, 21(1), 15–21, <https://doi.org/10.5114/hm.2020.88149>.
- Szczepan, S., Wróblewska, Z., Klarowicz, A., Błacha, R., Rejman, M. (2020b). Effects of different forms of extrinsic feedback on the accuracy of force production and to differentiate this force in the simple cyclic movements of the upper and lower limb. *Polish Hyperbaric Research*, 3(72), 39–56, <https://doi.org/10.2478/phr-2020-0016>.
- Szczepan, S., Zatoń, K., Cuenca-Fernández, F., Párraga, A., Arellano, R. (2018a). The effects of concurrent visual versus verbal feedback on swimming strength task execution article details. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 10(4), 61–71, <https://doi.org/10.29359/BJHPA.10.4.05>.
- Szczepan, S., Zatoń, K., Klarowicz, A. (2018b). The impact of visual concurrent control of swimming speed on swimming technique and performance. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 10(2), 27–36.
- Zatoń, K., Szczepan, S. (2014). The impact of immediate verbal feedback on the improvement of swimming technique. *Journal of Human Kinetics*, 41, 143–154, <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0042>.

ABSTRACT

Accuracy of reproducing submaximal running speeds and its relationship with selected neuromuscular function indices in physically active men

Introduction. The study was designed to assess the accuracy of reproducing prescribed running speeds (50%, 70%, and 90% of $v_{\max}$) in physically active men and to determine the relationship between neuromuscular function, assessed using vertical jumps and maximal running speed, and both relative and absolute errors in running speed reproduction. **Material.** The study included 24 healthy, physically active men aged 19.9 ± 1.8 years. **Methods.** Maximal running speed ($v_{\max}$) was determined during treadmill testing, after which participants completed, in randomised order, trials involving the reproduction of prescribed speeds (50%, 70%, and 90% of $v_{\max}$) over a 20 m distance preceded by a 30 m run-up. Countermovement jump height and the reactive strength index were

also measured. **Results.** Participants demonstrated the ability to differentiate running speeds in line with the prescribed intensity levels. The greatest error in speed estimation and the highest relative error were recorded at 50% of $v_{\max}$, whereas the highest accuracy was observed at 90% of $v_{\max}$. A tendency towards overestimation of running speed was identified, especially at lower intensity levels. Furthermore, individuals with higher speed–strength capacities demonstrated greater errors in the reproduction of perceived running speed at higher intensity levels. **Conclusions.** The accuracy of running speed reproduction is influenced by exercise intensity and is lowest at lower speeds, with a concomitant tendency towards speed overestimation. Running pace regulation should be taken into account in both training practice and sports diagnostics.

Keywords: kinaesthesia, proprioception, perception of running speed, running speed, reproduction error, sprinting

Adres do korespondencji
e-mail: kubamalik123@gmail.com

PAULINA PINTAK, EDYTA PIENIACKA

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków
we Wrocławiu

BUDOWANIE MARKI OSOBISTEJ PIŁKAREK W MEDIACH SPOŁECZNOŚCIOWYCH: CZYNNIKI SPRZYJAJĄCE I OGRANICZAJĄCE

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było rozpoznanie, czy piłkarki budują markę osobistą w mediach społecznościowych, w jaki sposób realizują ten proces oraz jakie czynniki sprzyjają jego przebiegowi i jakie go ograniczają w środowisku kobiecej piłki nożnej. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 100 zawodniczek reprezentujących różne szczeble rozgrywkowe w Polsce. **Metody.** Zastosowano metodę sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza ankiety w formie elektronicznej (ang. *computer-assisted web interviewing*, CAWI). Oceniano świadomość i ogólną aktywność wizerunkową całej próby badanej, a także przeanalizowano wyodrębnioną grupę zawodniczek deklarujących budowanie marki osobistej w mediach społecznościowych ($n = 44$). Dane opracowano za pomocą statystyki opisowej oraz testu chi-kwadrat i współczynnika V Cramera ($p < 0,05$). **Wyniki.** Mimo niemal pełnej znajomości pojęcia marki (98,2%) jedynie nieliczna grupa badanych podejmowała realne działania wizerunkowe. Wykazano, że głównymi przeszkodami były braki techniczne oraz presja związana z wyglądem. Zdecydowana większość zawodniczek (84%) wskazała na konieczność zatrudnienia przez klub specjalisty do spraw marketingu. **Wnioski.** Tylko 44% piłkarek przyznało, że buduje markę osobistą w mediach społecznościowych, pozostałe wskazały, że wykorzystują je do celów prywatnych i do rozrywki. Proces tworzenia marki osobistej okazał się intuicyjny i spontaniczny – 95% zawodniczek nie miało planu komunikacji ani wsparcia ekspertów. Wśród barier utrudniających budowanie marki znalazły się problemy z montażem, lęk przed oceną innych oraz brak wsparcia marketingowego ze strony klubów. Piłkarki zadeklarowały potrzebę profesjonalizacji i wsparcia specjalistów, a ich motywacją była m.in. promocja kobiecej piłki nożnej. **Słowa kluczowe:** marka osobista, media społecznościowe, piłka nożna kobiet

WPROWADZENIE

Marka osobista sportowca stała się w ostatnich latach nieodłącznym elementem rzeczywistości sportowej. Determinantą zainteresowania się zarówno przez środowisko sportowe, jak i naukowców pojęciem marki osobistej sportowca było włączenie nowych technologii, platform cyfrowych, mediów, w tym mediów społecznościowych, w ekosystem sportu.

Kultura medialnej innowacyjności* ukształtowała nowy model kreowania marki osobistej sportowca, ukierunkowując działania związane z autoprezentacją oraz budowaniem relacji z kibicami i sponsorami na media społecznościowe. Według *Digital 2025: Global Overview Report* (2025) na początku 2025 r. liczba użytkowników Internetu na świecie osiągnęła 5,56 mld, co odpowiada 67,9% populacji globalnej. Oznacza to wzrost o 136 mln osób w skali roku i potwierdza dalszą ekspansję środowiska cyfrowego w życiu społecznym i gospodarczym. Liczba aktywnych tożsamości użytkowników mediów społecznościowych wyniosła 5,24 mld (63,9% populacji świata), co oznacza wzrost o ponad 200 mln kont w ciągu roku. Platformy cyfrowe stały się podstawową przestrzenią komunikacji, autoprezentacji i budowania rozpoznawalności społecznej. W konsekwencji media społecznościowe przestały pełnić wyłącznie funkcję komunikacyjną, a stały się narzędziem zarządzania wizerunkiem i kreowania kapitału symbolicznego jednostki. Zjawisko to ma szczególne znaczenie w sporcie, w którym widoczność medialna stanowi jeden z kluczowych zasobów umożliwiających rozwój kariery pozasportowej oraz komercjalizację aktywności zawodnika (Staskeviciute-Butiene i wsp., 2014). W przypadku sportu kobiet rola marki osobistej jest znacznie silniejsza, ponieważ zawodniczki funkcjonują w warunkach ograniczonej ekspozycji w mediach tradycyjnych (Harris i Brison 2022; Lobpries i wsp. 2018; Peng i Jung 2024). Dotyczy to zwłaszcza piłki nożnej kobiet w Polsce, która to dyscyplina, mimo rosnącej popularności, wciąż odznacza się relatywnie małą rozpoznawalnością społeczną. Media społecznościowe stają się zatem przestrzenią kompensującą ten deficyt, pozwalając zawodniczkom samodzielnie komunikować swoją aktywność sportową, budować relacje z kibicami oraz popularyzować dyscyplinę (Geurin i Burch, 2016). Według Kunkela i wsp. (2014) sportowcy są markami hybrydowymi (Cortsen, 2013) i sposób zarządzania ich wizerunkiem poza boiskiem ma kluczowe znaczenie dla zwiększenia popularności własnej oraz popularności ich drużyn (Geurin-Eagleman i Burch, 2016). W konsekwencji budowanie marki osobistej przestaje być wyłącznie narzędziem autopromocji, a zaczyna pełnić

* Jest to z jednej strony aplikacja w nowatorskich technologiach, a z drugiej – zdolność społeczeństwa do kreowania innowacyjnych rozwiązań, w których media są jednym z głównych elementów. Zob. K. Kopecka-Piech (2015), *Innowacyjność przemysłów kreatywnych. Media a sport*. [W:] K. Kopecka-Piech (red.), *Sport wielokrotnie. Innowacyjne zastosowanie nowych mediów*, s. 261–279. Wrocław:AWF, Katedra Komunikacji i Zarządzania w Sporcie.

funkcję instrumentu do upowszechniania sportu i zwiększania jego społecznej legitymizacji. Piłkarki mogą poprzez aktywność w mediach cyfrowych wpływać na rozpoznawalność zarówno własną, jak i kobiecego futbolu.

CEL BADAŃ

Celem badań było rozpoznanie, czy piłkarki budują markę osobistą, wykorzystując dostępne narzędzia komunikacji cyfrowej, w jaki sposób realizują ten proces (czy ich aktywność w mediach społecznościowych ma charakter strategiczny i wizerunkowy, czy też pozostaje działaniem spon-tanicznym i niesystematycznym) oraz jakie czynniki mu sprzyjają, a jakie ograniczają jego przebieg.

Poszukiwano odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

1. W jaki sposób piłkarki wykorzystują media społecznościowe do budowania marki osobistej?
2. W jaki sposób piłkarki realizują proces budowania marki osobistej w mediach społecznościowych?
3. Jakie czynniki ograniczają budowanie marki osobistej poprzez media społecznościowe?
4. Jakie czynniki sprzyjają wykorzystaniu mediów społecznościowych do budowania marki osobistej?

Na podstawie przyjętych założeń sformułowano hipotezę badawczą: Piłkarki świadomie i strategicznie wykorzystują media społecznościowe do budowania marki osobistej. Weryfikacja hipotezy opierała się na interpretacji wyników dotyczących znajomości pojęcia marki osobistej, podejmowania działań wizerunkowych, wykorzystywania mediów społecznościowych w celach wizerunkowych oraz stopnia strategiczności prowadzonej komunikacji.

Zmienną zależną był stopień świadomego stosowania mediów społecznościowych w budowaniu marki osobistej, wśród zmiennych niezależnych znalazły się wybrane cechy respondentek oraz czynniki kompetencyjne i organizacyjne wpływające na aktywność wizerunkową.

Odpowiedzi na pytania pozwoliły określić, czy tworzenie przez piłkarki marek osobistych stanowi realny mechanizm zwiększania ich widoczności i w konsekwencji popularyzacji piłki nożnej kobiet.

METODY I MATERIAŁ

Osoby badane

W badaniach uczestniczyło 100 zawodniczek trenujących piłkę nożną w Polsce. Struktura wiekowa badanej grupy była zróżnicowana (tab. 1), przy czym dominowały w niej osoby młode, w wieku 18–24 lat ($n = 55$). Kolejne grupy wiekowe stanowiły respondentki w wieku 25–30 lat ($n = 29$), poniżej 18 lat ($n = 9$) i powyżej 30. roku życia ($n = 7$). Struktura próby odzwierciedla specyfikę populacji czynnych piłkarek, w której przeważają osoby w okresie największej aktywności sportowej.

Analiza stażu treningowego pozwoliła wskazać na wysoki poziom doświadczenia sportowego badanej grupy (tab. 1). Zdecydowana większość posiadała wieloletnie doświadczenie treningowe: ponad 10 lat trenowało

Tabela1. Charakterystyka badanych

Cecha		<i>n</i>	%
Wiek (lata)	poniżej 18	9	8,7
	18–24	55	53,4
	25–30	29	28,2
	powyżej 30	10	9,7
Staż treningowy (lata)	powyżej 10	47	47
	6–10	40	40
	3–5	11	11
	poniżej 3	2	2
Status sportowy	amatorski	80	80
	półzawodowy	14	14
	zawodowy	6	6
Poziom rozgrywkowy	trzecia liga	36	36
	pierwsza liga	21	21
	niżej	21	21
	druga liga	13	13
	ekstraliga	9	9

47 osób, a w przedziale od 6 do 10 lat – 40 zawodniczek. Jedenaście piłkarek trenowało krócej – od 3 do 5 lat, a 2 osoby zajmowały się piłką nożną niecałe 3 lata.

Badane reprezentowały różne szczeble rozgrywek ligowych w Polsce. Najwięcej było piłkarek trzeciej ligi ($n = 36$). W pierwszej lidze oraz niższych klasach rozgrywkowych występowało po 21 respondentek, a w drugiej lidze – 13. Dziewięć piłkarek reprezentowało ekstraklasę. Struktura próby obejmowała zatem zarówno półprofesjonalny, jak i najwyższy poziom rywalizacji sportowej (tab. 1).

W zakresie statusu sportowego badanych przeważał model amatorski. Większość zawodniczek ($n = 80$) nie utrzymywała się wyłącznie z gry w piłkę nożną. Status półzawodowy zadeklarowało 14 respondentek, które przyznały, że łączą karierę sportową z pracą lub nauką (ang. *dual career*). Jedynie 6 piłkarek określiło swój status jako zawodowy, traktując grę jako główne źródło dochodu.

Metody

Zastosowano metodę sondażu diagnostycznego z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza ankiety przygotowanego w formie elektronicznej (ang. *computer assisted web interview*, CAWI). Narzędzie udostępniono respondentkom za pośrednictwem formularza internetowego, co – ze względu na rozproszenie geograficzne zawodniczek – umożliwiło sprawne zebranie materiału empirycznego przy zachowaniu anonimowości badanych.

Kwestionariusz miał charakter standaryzowany i składał się z 47 pytań, w tym pytań metryczkowych. Dominowały pytania zamknięte jednokrotnego i wielokrotnego wyboru, uzupełnione skalami Likerta służącymi do pomiaru postaw i opinii (m.in. do oceny poziomu wsparcia klubowego, poziomu kompetencji komunikacyjnych oraz sposobów postrzegania znaczenia marki osobistej). Konstrukcja narzędzia opierała się na logice blokowej – zastosowano pytania filtrujące, pozwalające wyodrębnić respondentki aktywne i nieaktywne w obszarze działań wizerunkowych w mediach społecznościowych.

Badania miały charakter pilotażowy i służyły wstępnej eksploracji tematu. Uzyskane wyniki, choć nie są w pełni reprezentatywne dla całej populacji, stanowią istotną diagnozę kluczowych barier oraz punkt wyjścia do dalszych, pogłębionych analiz.

Przebieg badań

Kwestionariusz ankiety został udostępniony respondentkom za pośrednictwem mediów społecznościowych, przede wszystkim poprzez grupy tematyczne oraz bezpośrednie kanały komunikacji z zawodniczkami. Dobór próby miał charakter celowy i opierał się na dostępności badanych w środowisku cyfrowym. Badanie realizowano od listopada do grudnia 2025 r.

Udział w projekcie był dobrowolny i anonimowy. Przed ich rozpoczęciem respondentki zostały poinformowane o jego celu, poufności danych oraz możliwości zrezygnowania z udziału w nim na każdym jego etapie. Badane wyraziły świadomą zgodę na udział w badaniach.

Ze względu na nielosowy charakter doboru próby uzyskane wyniki pozwalają na identyfikację tendencji występujących w środowisku piłki nożnej kobiet, ale bez formułowania wniosków o charakterze populacyjnym.

Analiza statystyczna

Materiał empiryczny opracowano z wykorzystaniem statystyki opisowej obejmującej liczebności i rozkłady procentowe odpowiedzi. Do oceny współzależności między zmiennymi jakościowymi zastosowano test niezależności chi-kwadrat (χ^2). W przypadku uzyskania istotnych wyników obliczano współczynnik V Cramera określający siłę związku. Poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$. Test χ^2 wykorzystywano przy spełnieniu założeń dotyczących minimalnych liczebności oczekiwanych. W pozostałych przypadkach, ze względu na ograniczenia formalne testu, odstąpiono od wnioskowania statystycznego na rzecz analizy jakościowej i opisu zaobserwowanych tendencji.

Analiza danych przebiegała dwuetapowo. W celu określenia poziomu świadomości marki osobistej badanych oraz skali podejmowanych przez nie w tym kierunku działań wizerunkowych (korzystanie z mediów społecznościowych i identyfikacja ich funkcji: komunikacyjnej lub wizerunkowej) przeanalizowano odpowiedzi całej próby ($n = 100$).

Kolejnym etapem było wyodrębnienie podgrupy zawodniczek wykorzystujących media społecznościowe do celów wizerunkowych ($n = 44$). Przeprowadzono dla niej analizę pogłębioną, obejmującą sposób wykorzystywania przez piłkarki platform, rodzaje publikowanych treści, regularność aktywności, poziom strategiczności działań oraz dostrzegane

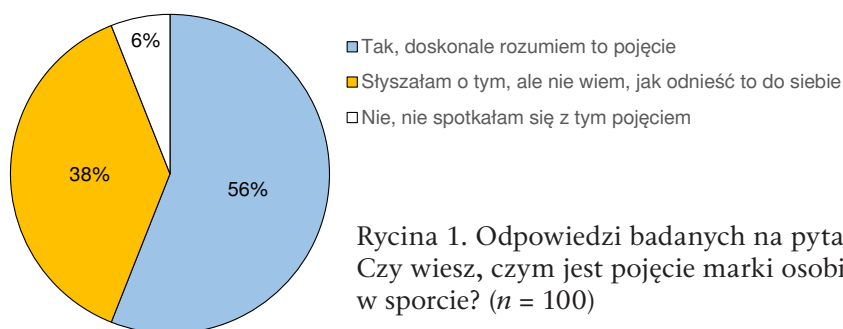
bariery w budowaniu marki osobistej. Takie podejście pozwoliło oddzielić aspekt samego używania mediów społecznościowych od kwestii świadomego ich wykorzystania w procesie kreowania wizerunku, co stanowiło kluczowe rozróżnienie.

WYNIKI

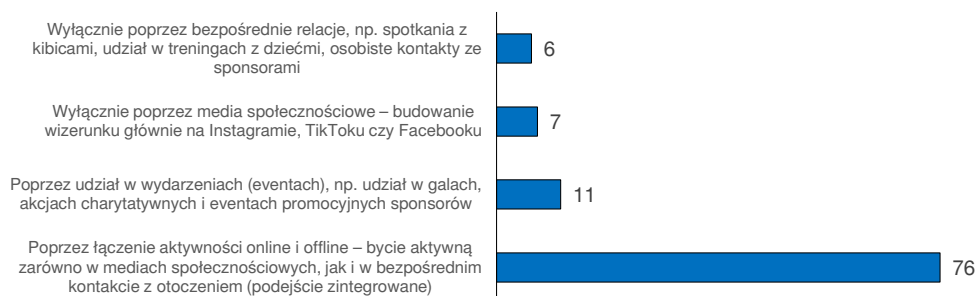
Rozumienie pojęcia marki osobistej i wykorzystania mediów społecznościowych

Analizę materiału badawczego rozpoczęto od określenia poziomu świadomości respondentek dotyczącej pojmowania pojęcia marki osobistej. Większość badanych przyznała, że zna i rozumie definicję marki osobistej w sporcie (ryc. 1).

W pytaniu o najskuteczniejszą strategię budowania wizerunku sportowca, badane wskazywały najczęściej podejście zintegrowane polegające na łączeniu aktywności w mediach społecznościowych z działaniami w przestrzeni offline (76% odpowiedzi; ryc. 2).



Rycina 1. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy wiesz, czym jest pojęcie marki osobistej w sporcie? ($n = 100$)

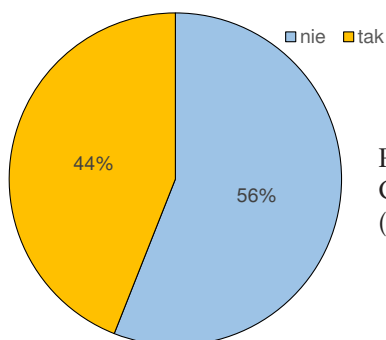


Rycina 2. Odpowiedzi badanych na pytanie: W jaki sposób, twoim zdaniem, najlepiej budować markę osobistą zawodniczki? ($n=100$)

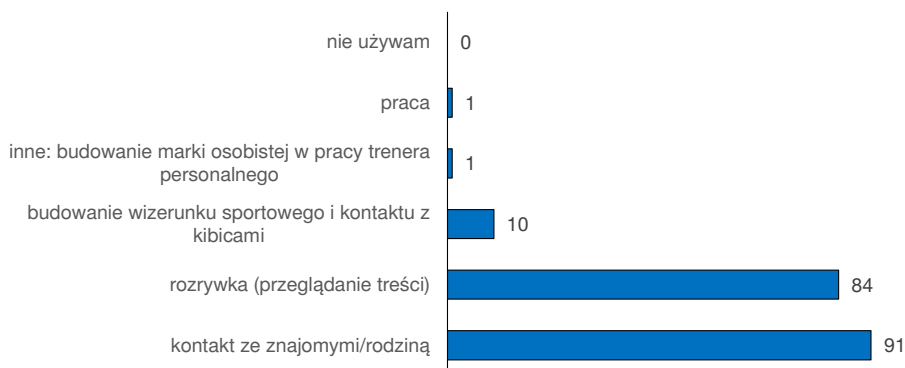
Wykazano istotny statystycznie związek między poziomem rozgrywkowym badanych a preferowanym przez nie modelem działań wizerunkowych ($\chi^2 = 16,85$; $p < 0,001$). Zawodniczki rywalizujące na wyższych szczeblach ligowych częściej wskazywały strategię hybrydową niż piłkarki reprezentujące niższe klasy rozgrywkowe. Stwierdzono także istotną korelację między poziomem rozumienia znaczenia wizerunku sportowego a wyborem strategii komunikacji ($p = 0,0045$). Można zatem założyć, że większa świadomość roli wizerunku sprzyja podejmowaniu bardziej złożonych działań komunikacyjnych. Deklarowana przez badane znajomość pojęcia marki osobistej wiązała się z ich bardziej refleksyjnym podejściem do sposobów jej kształtowania, jednak sama świadomość nie przesądza jeszcze o rzeczywistym podejmowaniu działań wizerunkowych.

Mimo relatywnie wysokiego poziomu świadomości pojmowania marki osobistej aktywność wizerunkowa respondentek okazała się wyraźnie mniejsza. Jedynie 44% zawodniczek potwierdziło, że prowadzi profil w mediach społecznościowych w celu budowania marki osobistej. Pozostałe 56% odpowiedziało, że nie podejmuje tego typu działań (ryc. 3). Uzyskana różnica nie była jednak istotna statystycznie ($p = 0,230$), co wskazuje na brak dominującego modelu zachowań w badanej grupie.

Na podstawie analizy przyczyn udzielania się w mediach społecznościowych wykazano, że ich podstawowym przeznaczeniem według wszystkich badanych ($n = 100$) pozostawała komunikacja interpersonalna oraz konsumpcja treści. Respondentki najczęściej wskazywały kontakt z rodziną i znajomymi, śledzenie bieżących trendów oraz rozrywkę (ryc. 4). Cele o charakterze wizerunkowym, takie jak nawiązywanie relacji z kibicami, pojawiały się zdecydowanie rzadziej. Uzyskane wyniki wskazują na rozbieżność między deklaracjami na temat znajomości pojęcia marki osobistej a praktycznym wykorzystywaniem narzędzi cyfrowych do jej budowania.



Rycina 3. Odpowiedzi badanych na pytanie:
Czy prowadzisz swoje media społecznościowe?
($n = 100$)



Rycina 4. Odpowiedzi badanych na pytanie: W jakim celu głównie używasz mediów społecznościowych? ($n = 100$)



Rycina 5. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy planujesz w przyszłości profesjonalnie prowadzić swoje media społecznościowe (jako sportową markę osobistą)? ($n = 56$)

Media społecznościowe pełniły przede wszystkim funkcję komunikacyjną i konsumpcyjną, a dopiero wtórnie marketingową. Na tej podstawie wyodrębniono podgrupę zawodniczek sięgających po media społecznościowe w celach wizerunkowych ($n = 44$). Przeprowadzono dla niej pogłębioną analizę sposobów tworzenia marki osobistej.

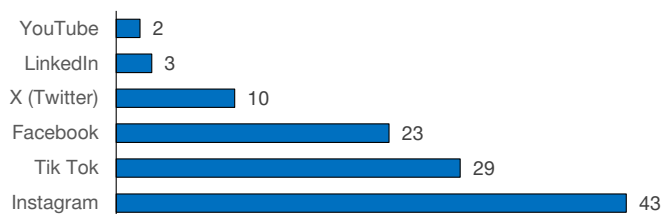
Zawodniczki niepodjęające działań wizerunkowych, zapytane o plany na przyszłość, w większości nie wykluczały rozpoczęcia aktywności związanej z budowaniem marki osobistej (ryc. 5). Można zatem sądzić, że brak działań w tym kierunku nie wynikał wyłącznie z negatywnego nastawienia do autopromocji, lecz mógł być związany z istnieniem barier ograniczających aktywność wizerunkową.

Sposób wykorzystania mediów społecznościowych w budowaniu marki osobistej ($n = 44$)

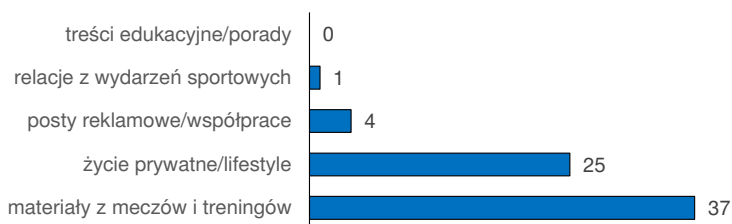
Objęte szczegółową analizą zawodniczki przyznające się do wykorzystywania mediów społecznościowych w celach wizerunkowych ($n = 44$) zdecydowanie częściej wskazywały na takie platformy komunikacyjne, jak Instagram (97,7%) czy TikTok (ryc. 6).

Struktura publikowanych w mediach materiałów wskazuje na przewagę treści związanych bezpośrednio z aktywnością sportową, czyli relacji z meczów i treningów, uzupełnianych jednak informacjami o charakterze lifestylowym (ryc. 7). Oznacza to łączenie w komunikacji elementów sportowych i pozasportowych, co odpowiada modelowi budowania marki sportowca (Arai i wsp., 2014).

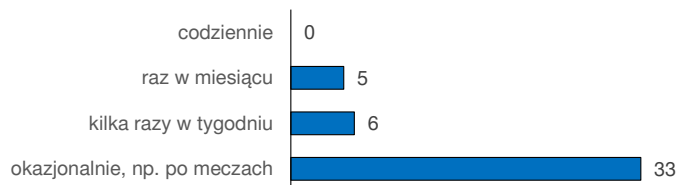
Częstość zamieszczania treści w mediach była zróżnicowana (ryc. 8). Wykazano istotną statystycznie zależność między atmosferą w drużynie



Rycina 6. Odpowiedzi badanych na pytanie: Z jakich platform mediów społecznościowych korzystasz? ($n = 44$)



Rycina 7. Odpowiedzi badanych na pytanie: Jakie treści publikujesz najczęściej? ($n = 44$)

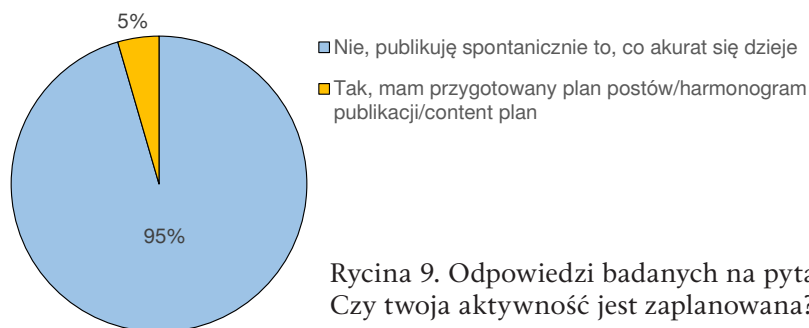


Rycina 8. Odpowiedzi badanych na pytanie: Jak często publikujesz treści związane ze swoją karierą sportową? ($n = 44$)

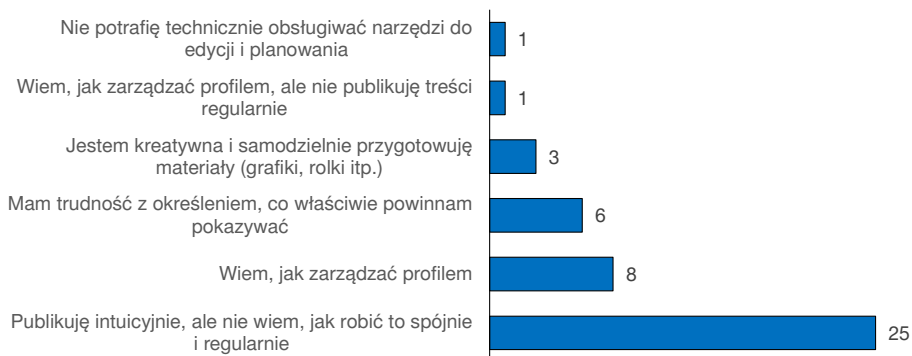
a regularnością aktywności na platformach społecznościowych ($p = 0,028$). Zawodniczki deklarujące wsparcie ze strony koleżanek z zespołu publikowały treści częściej niż respondenci wskazujące na obojętność otoczenia. Uzyskane wyniki sugerują, że aktywność wizerunkowa nie była wyłącznie indywidualną decyzją zawodniczek, lecz wiązała się z kontekstem społecznym funkcjonowania w drużynie.

Na podstawie analizy sposobu prowadzenia komunikacji w mediach odnotowano niski poziom planowania aktywności wizerunkowej. Większość zawodniczek (95%) nie miała sprecyzowanego harmonogramu publikacji (content planu), prowadziły one swoje profile w sposób spontaniczny i intuicyjny (ryc. 9).

Strategiczne podejście do zarządzania mediami społecznościowymi pojawiało się u wyodrębnionych zawodniczek sporadycznie (ryc. 10), co wskazuje na ograniczoną profesjonalizację ich działań komunikacyjnych. Brak planowania dotyczącego zamieszczania treści może utrudniać utrzymanie spójności przekazu oraz systematyczność komunikacji, a tym samym potencjalnie ograniczać możliwości wykorzystania profilu jako



Rycina 9. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy twoja aktywność jest zaplanowana? ($n = 44$)

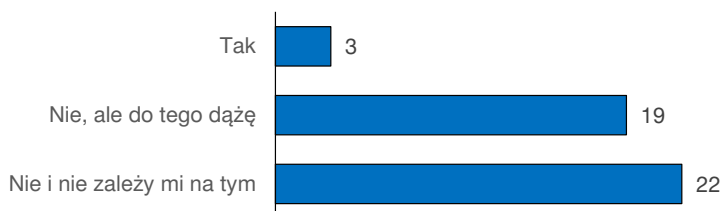


Rycina 10. Odpowiedzi badanych na pytanie: Jak oceniasz swoje kompetencje w prowadzeniu mediów społecznościowych ($n = 44$)

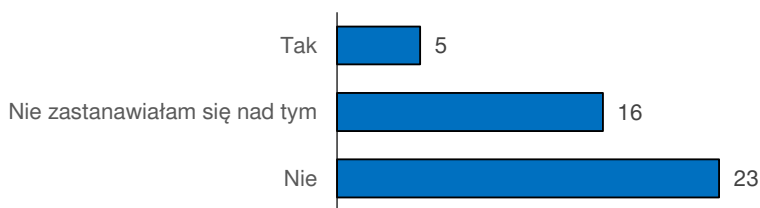
narzędzia współpracy komercyjnej. Uzyskane wyniki sugerują, że choć badane podejmowały aktywność wizerunkową, to ich działania miały w przeważającej mierze charakter reaktywny, a nie strategiczny.

Wśród aktywnych medialnie zawodniczek 6,8% zadeklarowało pozyskanie sponsora dzięki tej aktywności (ryc. 11). W większości przypadków aktywność cyfrowa nie przekładała się na współpracę komercyjną. Media społecznościowe pełniły przede wszystkim funkcję komunikacyjną i wizerunkowo-społeczną, a poziom ich wykorzystania jako sformalizowanego narzędzia marketingowego był raczej ograniczony. Może to pozostawać w związku z obserwowanym wcześniej brakiem strategicznego planowania komunikacji oraz intuicyjnym charakterem prowadzonych działań.

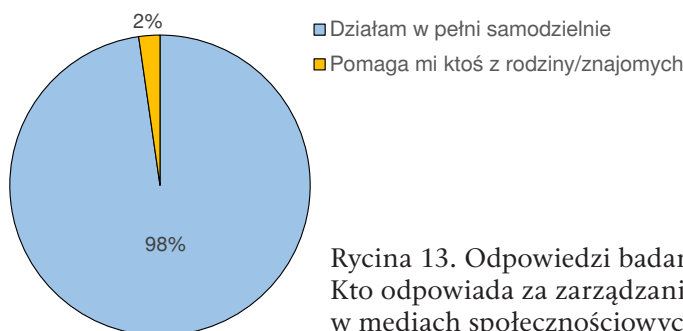
Większość badanych zawodniczek nie postrzegała aktywności w mediach społecznościowych jako potencjalnej ścieżki przyszłej pracy zawodowej (ryc. 12). W niewielkiej grupie respondentek deklarujących zamiar komercjalizowania swojego wizerunku częściej obserwowano próby systematycznego planowania publikacji różnych treści. Ze względu na bardzo małą liczebność wyodrębnionej podgrupy zależność ta nie pozwala jednak na formułowanie uogólnień dla całej badanej populacji.



Rycina 11. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy w wyniku prowadzenia profili udało ci się nawiązać współpracę reklamową lub pozyskać sponsora? ($n = 44$)



Rycina 12. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy postrzegasz swoje media społecznościowe jako fundament twojej przyszłej pracy po zakończeniu kariery sportowej? ($n = 44$)

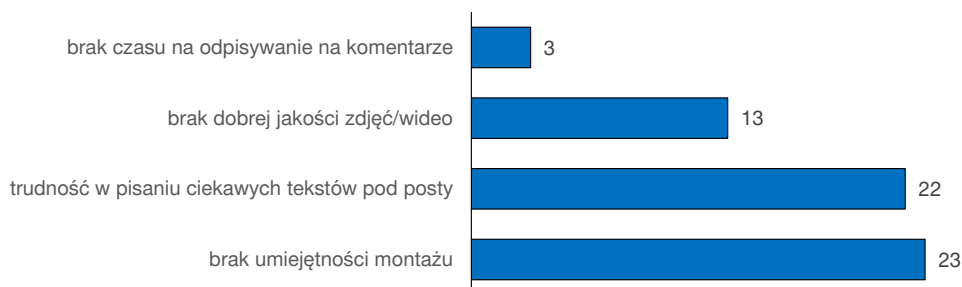


Rycina 13. Odpowiedzi badanych na pytanie: Kto odpowiada za zarządzanie twoimi profilami w mediach społecznościowych? ($n = 44$)

Analizując odpowiedzi wyodrębnionych piłkarek, stwierdzono, że niemal wszystkie one prowadziły swoje profile samodzielnie – 43 spośród 44 respondentek nie korzystało ze wsparcia osób trzecich ani specjalistów w zakresie komunikacji wizerunkowej (ryc. 13). Wynik ten wskazuje na brak profesjonalnego zaplecza organizacyjnego w obszarze zarządzania marką osobistą.

Czynniki ograniczające budowanie marki osobistej

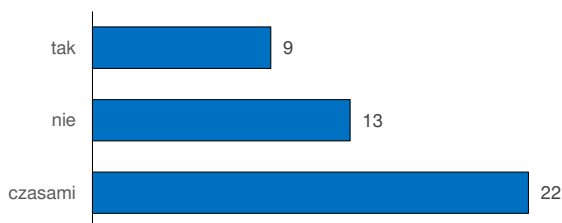
W celu pełniejszego zrozumienia ograniczeń w korzystaniu z mediów społecznościowych przeanalizowano oddzielnie bariery wskazywane przez zawodniczki aktywne wizerunkowo ($n = 44$) oraz respondenci niepodjęjące działań w tym kierunku ($n = 56$). W grupie piłkarek budujących markę osobistą najczęściej wskazywanym problemem był brak umiejętności montażu materiałów wideo (ryc. 14). Poważną barierą psychologiczną okazał się również lęk przed hejtem (ryc. 15), choć nie odnotowano jego istotnego statystycznie wpływu na rezygnację z aktywności w mediach ($p = 0,629$). Stwierdzono natomiast istotną statystycznie presję związaną



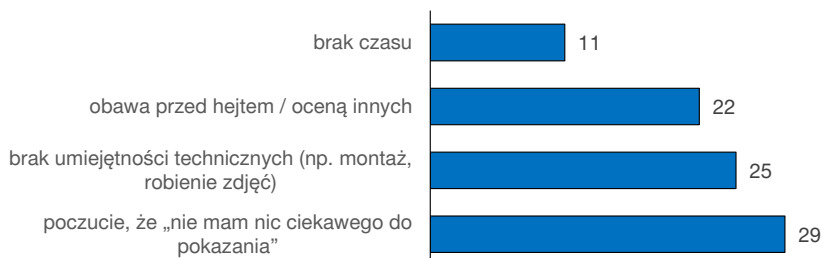
Rycina 14. Odpowiedzi badanych na pytanie: Z jakimi trudnościami technicznymi mierzysz się najczęściej? ($n = 44$)



Rycina 15. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy mierzysz się z negatywnymi komentarzami (hejtem) pod swoim adresem? ($n = 44$)



Rycina 16. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy czujesz presję, aby wyglądać „atrakcyjnie” na zdjęciach, aby zdobyć większe zasięgi? ($n = 44$)



Rycina 17. Odpowiedzi badanych na pytanie: Co stanowi dla Ciebie największą barierę, że nie prowadzisz swoich profili w mediach społecznościowych? ($n = 56$)

z wyglądem ($p = 0,0099$), która nasilała się wraz ze wzrostem częstotliwości publikowania treści ($p = 0,015$) (ryc. 16).

W grupie zawodniczek niebudujących marki osobistej najczęściej wskazywaną przeszkodą było przekonanie o braku interesujących treści do zaprezentowania (51,8%) oraz lęk przed oceną innych użytkowników (39,3%) (ryc. 17).

W obu analizowanych grupach dominowały bariery psychologiczne i kompetencyjne, jednak ich charakter był odmienny – wśród zawodniczek aktywnych medialnie ograniczały one rozwój dalszych działań, a wśród zawodniczek biernych stanowiły barierę utrudniającą rozpoczęcie budowania marki osobistej.

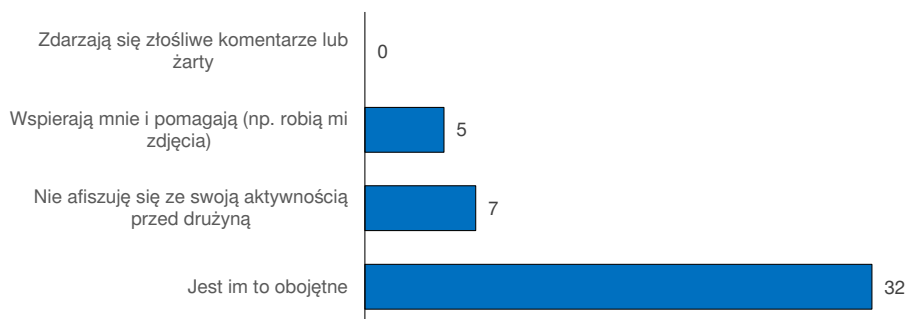
Inspiracją do prowadzenia komunikacji wizerunkowej okazały się przede wszystkim profile zagranicznych piłkarek (ryc. 18), co może wskazywać na potrzebę poszukiwania wzorców profesjonalnej autoprezentacji poza

lokalnym środowiskiem sportowym. Pozytywnym aspektem był też odbiór społeczny – badane odpowiadały, że ich aktywność wizerunkowa jest zazwyczaj akceptowana przez koleżanki z drużyny (ryc. 19), co, jak wskazano wcześniej, stymulowało je do częstszych publikacji. Głównym motywatorem do rozpoczęcia działań była chęć promowania piłki nożnej (ryc. 20).

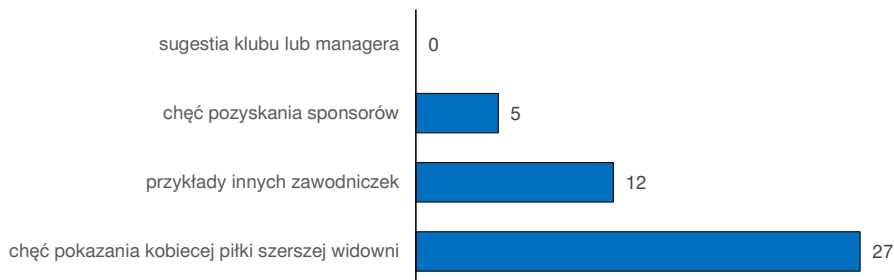
W przypadku zawodniczek niepodejmujących działań wizerunkowych głównym czynnikiem motywującym do ich rozpoczęcia była potrzeba przełamania wewnętrznych barier (78,6%) (ryc. 21).



Rycina 18. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy śledzisz zagraniczne profile piłkarek (np. z ligi angielskiej, amerykańskiej, hiszpańskiej) w celu inspiracji? ($n = 44$)



Rycina 19. Odpowiedzi badanych na pytanie: Jak twoja aktywność w mediach społecznościowych jest odbierana przez inne zawodniczki w drużynie? ($n = 44$)



Rycina 20. Odpowiedzi badanych na pytanie: Co najbardziej zachęciło cię do bycia aktywną w mediach społecznościowych? ($n = 44$)

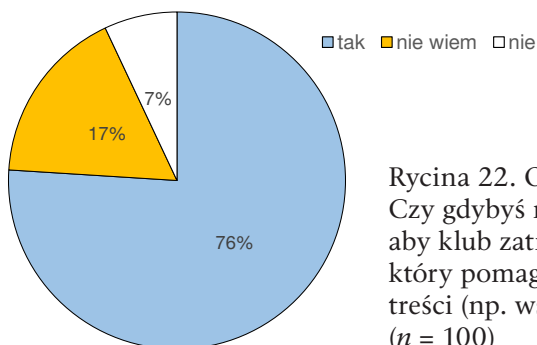


Rycina 21. Odpowiedzi badanych na pytanie: Co musiałoby się stać, abyś zaczęła prowadzić swój profil sportowy? ($n = 56$)

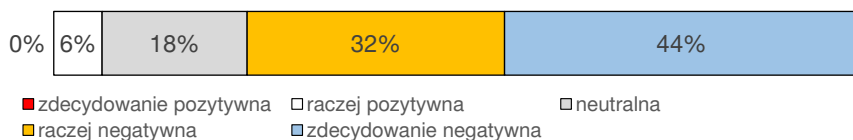
Wsparcie instytucjonalne

Analiza uwarunkowań instytucjonalnych wykazała istotną rolę wsparcia systemowego w procesie budowania marki osobistej. Zdecydowana większość respondentek (76%) oczekiwała zatrudnienia przez klub sportowy specjalisty odpowiedzialnego za media społecznościowe (ryc. 22). Stwierdzono bardzo silną zależność między poparciem dla tego rozwiązania a rodzajem odczuwanych barier ($p < 0,001$). Wśród zawodniczek wskazujących na deficyty techniczne (np. brak umiejętności montażu materiałów) poparcie dla zatrudnienia specjalisty przekraczało 90%, a w grupie piłkarek deklarujących brak czasu odsetek ten sięgał 60%.

Większość zawodniczek (76%) negatywnie oceniała poziom wsparcia marketingowego ze strony swoich klubów, przy czym aż 44% wskazało ocenę „zdecydowanie negatywną”, a 32% „raczej negatywną” (ryc. 23). Jedynie 6% respondentek uznało te działania za pozytywne, a pozostałe



Rycina 22. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy gdybyś miała taką możliwość, chciałabyś, aby klub zatrudnił dedykowanego specjalistę, który pomagałby zawodniczkom w tworzeniu treści (np. wspólne sesje foto, montaż wideo)? ($n = 100$)

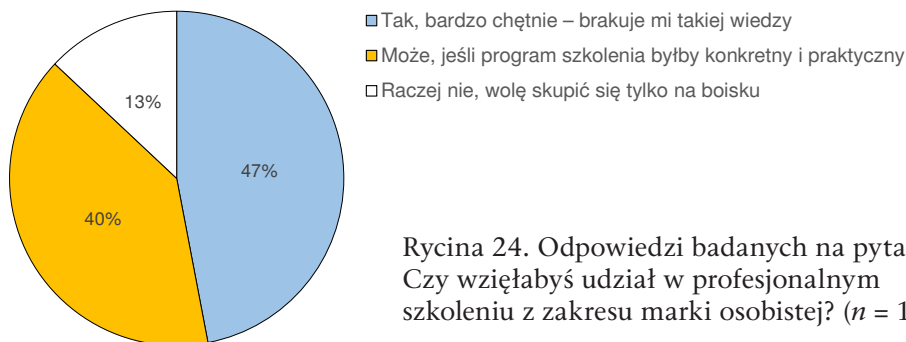


Rycina 23. Odpowiedzi badanych na pytanie: Jak oceniasz obecne wsparcie marketingowe ze strony twojego klubu? ($n = 100$)

18% zachowało postawę neutralną. Nie odnotowano odpowiedzi wskazujących na najwyższy stopień zadowolenia. Uzyskane wyniki potwierdzają istotne deficyty w obszarze profesjonalnej promocji badanych piłkarek.

Ocena wsparcia klubowego pozostawała istotnie skorelowana ze stażem treningowym badanych ($p = 0,003$, $V = 0,42$). Zawodniczki bardziej doświadczone formułowały wyraźnie bardziej krytyczne opinie na temat działań marketingowych ich klubów. W grupie piłkarek o najdłuższym stażu (powyżej 10 lat) ponad 80% respondentek wystawiło im ocenę negatywną (1–2 pkt). Wśród zawodniczek początkujących dominowały oceny umiarkowane i pozytywne. Można zatem wnioskować, że oczekiwania wobec profesjonalizacji działań organizacyjnych rosną wraz z doświadczeniem sportowym.

Blisko połowa badanych (47%) wyraziła zdecydowaną chęć udziału w profesjonalnym szkoleniu z zakresu tworzenia marki osobistej, wskazując na brak wiedzy w tym obszarze. Kolejne 40% dopuszczało taką możliwość, uzależniając ją od programu szkolenia. Łącznie aż 87% zawodniczek wykazało zainteresowanie podnoszeniem kompetencji marketingowych. Jedynie 13% zadeklarowało chęć skupienia się wyłącznie na aktywności sportowej (ryc. 24).



Rycina 24. Odpowiedzi badanych na pytanie: Czy wzięłabyś udział w profesjonalnym szkoleniu z zakresu marki osobistej? ($n = 100$)

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki pozwalają skonfrontować założenia dotyczące marki osobistej badanych piłkarek z praktyką ich funkcjonowania w przestrzeni mediów społecznościowych. Marka sportowca jest definiowana w literaturze przedmiotu jako zestaw atrybutów sportowych (ang. *on-field*) i pozasportowych (ang. *off-field*), skojarzeń oraz narracji budowanych wokół zawodnika, które kształtują jego rozpoznawalność, wizerunek i wartość rynkową (Arai i wsp., 2014; Hasaan i wsp., 2018). W ujęciu marketingowym oznacza to świadome zarządzanie tożsamością i komunikacją, a nie jedynie samą obecność medialną (Chimkowska, 2022; Khedher, 2015). W badaniach własnych wskazano jednak na wyraźne rozwarstwienie między pojmowaniem pojęcia marki osobistej a praktycznym jego zastosowaniem. Choć większość respondentek przyznała, że zna i rozumie pojęcie marki osobistej, to jedynie 44% podejmowało działania wizerunkowe w mediach społecznościowych, pozostałe 56% pozostawało bierne. Oznacza to istnienie luki między świadomością a implementacją strategii, co pozostaje sprzeczne z założeniem planowego pozycjonowania marki (Chimkowska, 2022; Khedher, 2015). Dodatkowo sposób prowadzenia przez badane swoich profili potwierdza intuicyjny charakter podejmowanych działań. Zgodnie z modelem Arai i wsp. (2014) marka sportowca opiera się na wynikach sportowych, atrakcyjności wizerunkowej i stylu życia. W badanej grupie wprawdzie wszystkie te elementy były obecne – publikacje dotyczyły głównie meczów i treningów (*on-field*) oraz życia codziennego i relacji w drużynie (*off-field*) – nie miały jednak charakteru strategicznego. Aż 95% aktywnych zawodniczek ($n = 44$) nie posiadało planu zamieszczania treści na profilu, a 43 prowadziły profile samodzielnie. W literaturze przedmiotu podkreśla się, że sportswomenki pełnią rolę menedżerek swojej marki, co zmusza je do zarządzania nią i jednocześnie obecności w Internecie (Lebel i Danylchuk, 2012; Lobpries i wsp., 2018; Sauder i Blaszk, 2016). W konsekwencji obecność komponentów marki nie przekładała się na jej wartość ekonomiczną – jedynie 6,8% zawodniczek pozyskało sponsora dzięki aktywności w sieci. Oznacza to, że w przypadku badanych piłkarek media społecznościowe pełniły przede wszystkim funkcję komunikacyjną, a nie zarządczą, co potwierdza tezę Kunkela i Biscaia (2020), iż sama aktywność, bez strategicznego zarządzania relacją z odbiorcą, nie generuje kapitału marki. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że najważniejszym ograniczeniem w budowaniu marki osobistej okazała się niemożność przełożenia wiedzy teoretycznej na działania

praktyczne. W grupie aktywnych medialnie respondentek dominowały bariery techniczne (m.in. brak umiejętności montażu wideo) oraz presja estetyczna ($p = 0,0099$, $V = 0,26$), natomiast wśród zawodniczek biernych pod tym względem najczęściej wskazywano brak pomysłu na treści (51,8%) i lęk przed oceną (39,3%). Ograniczenia mają zatem charakter kompetencyjno-psychologiczny, a nie technologiczny – zawodniczki wiedzą, czym jest marka osobista, lecz nie potrafią odnieść jej do swojej osoby i przekształcić w spójny przekaz. Wniosek ten można interpretować w świetle teorii autoprezentacji Goffmana: zarządzanie wrażeniem wymaga świadomości roli społecznej i kontroli przekazu. Presja estetyczna prowadziła dodatkowo do ograniczania publikacji materiałów sportowych, co wpisuje się w opisywane w literaturze napięcie między profesjonalizmem a normami kobiecości (Fink, 2015; Toffoletti i Thorpe, 2018).

Większość badanych respondentek oczekiwała zatrudnienia przez ich kluby sportowe specjalisty ds. mediów. Zależność między poparciem dla tego rozwiązania a rodzajem barier w budowaniu marki osobistej w Internecie okazała się bardzo silna ($p < 0,001$). Wraz ze stażem treningowym piłkarek rosła ich krytyczna ocena wsparcia marketingowego ze strony klubów ($p = 0,003$, $V = 0,42$). Marka sportowca funkcjonuje w ekosystemie organizacyjnym (Kunkel i Biscaia, 2020), a brak pomocy instytucjonalnej przenosi obowiązki marketingowe na zawodnika i w efekcie musi on pełnić jednocześnie rolę sportowca i menedżera marki, co obniża skuteczność jego działań i utrudnia komercjalizację.

Najczęściej deklarowanym motywem aktywności w mediach społecznościowych okazała się chęć promowania piłki nożnej kobiet. W praktyce działania badanych zawodniczek polegały na publikowaniu materiałów z treningów i meczów, relacjonowaniu przygotowań do kolejnych spotkań, udostępnianiu treści klubowych oraz oznaczaniu drużyny i partnerów sportowych. Tego typu komunikacja przenosi wydarzenia sportowe do codziennej przestrzeni odbiorców, zwiększając częstotliwość kontaktu kibica z dyscypliną. W efekcie obserwatorzy śledzą nie tylko daną zawodniczkę, lecz także jej klub, ligę i rozgrywki, co prowadzi do zwiększenia rozpoznawalności całego środowiska piłki nożnej kobiet. Mechanizm ten wpisuje się w ustalenia Geurin-Eagleman i Burch (2016), którzy wskazują, że aktywność cyfrowa sportowców wzmacnia zainteresowanie drużyną i dyscypliną poprzez transfer uwagi odbiorców z jednostki na organizację sportową.

Podjęte badania pozwoliły wskazać, że badane piłkarki funkcjonują na etapie przejściowym między świadomością marki a jej strategicznym zarządzaniem. Rozumieją, co to jest marka i że odgrywa ona istotną funkcję

w upowszechnianiu piłki nożnej kobiet, ale jednocześnie zdają sobie sprawę, że jest ona tworzona intuicyjnie, ograniczana kompetencyjnie i zależna organizacyjnie. Oznacza to, że w badanej populacji marka osobista nie stanowi jeszcze w pełni narzędzia do budowania rozpoznawalności, budowania relacji z kibicami czy pozyskiwania kontraktów sponsorskich. W konsekwencji jest to potencjał do zagospodarowania zarówno ze strony klubów, jak i samych zawodniczek.

WNIOSKI

Celem badań było ustalenie, czy piłkarki budują swoją markę osobistą w mediach społecznościowych, w jaki sposób realizują ten proces oraz jakie czynniki go wspierają i ograniczają. Odpowiedzi na pytania badawcze pozwalają uporządkować uzyskane wyniki i zweryfikować przyjętą hipotezę.

1. W jaki sposób piłkarki wykorzystują media społecznościowe do budowania marki osobistej? Media społecznościowe są w środowisku piłki nożnej kobiet narzędziem powszechnie używanym, jednak tylko część zawodniczek wykorzystuje je w celach wizerunkowych. Jedynie 44% badanych przyznało, że prowadzi swój profil właśnie po to, aby budować markę osobistą, pozostałe zawodniczki wskazały, że korzystają z nich głównie w celach prywatnych i rozrywkowych. W grupie respondentek, które za pomocą social mediów tworzą markę osobistą, dominowały takie platformy, jak Instagram i TikTok, a publikowane treści zawierały przede wszystkim materiały sportowe (informacje na temat treningów i meczów) oraz elementy życia codziennego. Zawodniczki realizowały założenia komunikacji odpowiadającej modelowi *on-field* i *off-field*, lecz często bez pełnej świadomości marketingowej.
2. W jaki sposób piłkarki realizują proces budowania marki osobistej w mediach społecznościowych? Badane tworzyły markę osobistą z reguły intuicyjnie. Zdecydowana większość (95%) aktywnych w tym zakresie zawodniczek nie miała planu działania (publikowania różnych materiałów) i prowadziła swój profil samodzielnie. Aktywność w social mediach nie wynikała zatem ze strategii komunikacyjnej, lecz była raczej konsekwencją obecności w przestrzeni internetowej. Media społecznościowe stanowią bardziej narzędzie autoprezentacji i nawiązywania relacji społecznych niż środek słu-

żący do zarządzania wartością marki osobistej. W praktyce oznacza to, że elementy marki sportowca są obecne w komunikacji, ale zarządzanie nimi opiera się głównie na intuicji.

3. Jakie czynniki ograniczają budowanie marki osobistej poprzez media społecznościowe? W grupie aktywnej dominują trudności techniczne (np. montaż materiałów), presja estetyczna i obawy przed oceną. W grupie biernej główną przeszkodą jest przekonanie o braku atrakcyjnych treści oraz lęk przed opinią innych. Dodatkowo zawodniczki wskazują na brak profesjonalnych materiałów wizualnych i brak wsparcia organizacyjno-marketingowego ze strony klubu. Ograniczenia te powodują, że nawet przy wysokiej świadomości znaczenia marki osobistej wdrożenie wiedzy w praktyce jest utrudnione.
4. Jakie czynniki sprzyjają wykorzystaniu mediów społecznościowych do budowania marki osobistej? Na tak postawione pytanie badane odpowiadały najczęściej: wsparcie społeczne i organizacyjne. Zawodniczki budujące swoją markę wskazywały też na akceptację środowiska drużyny oraz inspirowanie się innymi sportsmenkami. Większość badanych oprócz pomocy ze strony klubu sportowego oczekiwała także zatrudnienia specjalisty ds. mediów, co wskazuje na duże znaczenie struktur instytucjonalnych w profesjonalizacji działań wizerunkowych. Ważnym czynnikiem zachęcającym do podejmowania działań w zakresie budowania marki osobistej w mediach społecznościowych okazała się możliwość promowania za ich pomocą uprawianej dyscypliny (piłki nożnej).

Aktywność wizerunkowa badanych piłkarek miała w przeważającej mierze charakter intuicyjny i spontaniczny, a nie strategiczny. Brak planowania komunikacji, marginalny poziom komercjalizacji oraz dominacja funkcji społecznych nad marketingowymi świadczą o niespełnieniu kryteriów świadomego zarządzania marką osobistą. W konsekwencji hipoteza zakładająca, że piłkarki strategicznie i świadomie budują swoją markę w mediach społecznościowych zostaje odrzucona. Należy podkreślić, że niska świadomość praktycznego wykorzystania marki osobistej wykracza poza poziom indywidualnej kariery zawodniczek. Ogranicza ona również potencjał popularyzacji kobiecej piłki nożnej, ponieważ w warunkach ograniczonej ekspozycji medialnej to właśnie aktywność wizerunkowa zawodniczek stanowi jeden z głównych mechanizmów zwiększania rozpoznawalności dyscypliny, zainteresowania kibiców oraz atrakcyjności sponsorskiej. Brak strategicznej komunikacji utrudnia zatem rozwój całego środowiska sportowego, a nie jedynie indywidualnych marek zawodniczek.

OGRANICZENIA

Podstawowym ograniczeniem badań był brak walidacji zastosowanej ankiety autorskiej. Narzędzie zostało opracowane na potrzeby projektu i nie poddano go procedurom ścisłej oceny rzetelności psychometrycznej. Kolejnym ograniczeniem, mimo satysfakcjonującej liczby respondentek ($n = 100$), był brak równomiernej reprezentacji wszystkich szczebli rozgrywkowych (dominacja niższych lig), co mogło wpłynąć na możliwość uogólnienia wyników na całą populację zawodniczek. Dodatkowo odpowiedzi mające charakter deklaracji mogły wiązać się z większą subiektywnością odpowiedzi. Oznacza to, że kompetencje ocenione przez zawodniczkę jako „intuicyjne” w rzeczywistości mogą odznaczać się wysokim poziomem rynkowym lub odwrotnie. Respondentki mogły również nie mieć wystarczającej wiedzy na temat realnego odbioru ich działań przez algorytmy mediów społecznościowych. Ponadto w badaniach nie uwzględniono czynników strukturalnych, które mogą istotnie wpływać na możliwość prowadzenia komunikacji marketingowej, takich jak budżet klubu, dostęp do sprzętu (telefonu lub komputera umożliwiającego tworzenie treści) czy zaplecze organizacyjne. Ich uwzględnienie w kolejnych badaniach pozwoliłoby dogłębniej wyjaśnić bariery technologiczne i kompetencyjne.

REKOMENDACJE DLA KLUBÓW KOBIECEJ PIŁKI NOŻNEJ

W związku z wykazaną w przedstawionych badaniach wyraźną potrzebą zwiększenia wsparcia kompetencyjnego dla piłkarek w obszarze zarządzania wizerunkiem szczególnie zasadne wydaje się wprowadzenie systematycznych szkoleń obejmujących podstawy zarządzania marką osobistą, sposoby wykorzystania mediów społecznościowych jako narzędzia komunikacji strategicznej oraz elementarne zasady planowania treści. Alternatywnym lub uzupełniającym rozwiązaniem może być zatrudnienie w klubach specjalisty ds. komunikacji cyfrowej ułatwiającego zawodniczkom prowadzenie swoich profili.

BIBLIOGRAFIA

- Arai, A., Ko, Y.J., Ross, S. (2014). Branding athletes: exploration and conceptualization of athlete brand image. *Sport Management Review*, 17(2), 97–106, <https://doi.org/10.1016/j.smr.2013.04.003>.

- Chimkowska, A. (2022). *Autentyczny personal branding, czyli silna marka osobista w praktyce*. Warszawa: MT Biznes.
- Cortsen, K. (2013). Annika Sörenstam – a hybrid personal sports brand. *Sport, Business and Management*, 3(1), 37–62, <https://doi.org/10.1108/20426781311316898>.
- Digital 2025: Global Overview Report (2025). Pobrano 14.02.2026 z: <https://datareportal.com/reports/digital-2025-global-overview-report>
- Fink, J.S. (2015). Female athletes, women's sport, and the sport media commercial complex: Have we really "come a long way, baby"? *Sport Management Review*, 18(3), 331–342, <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.05.001>.
- Geurin-Eagleman, A., Burch, L.M. (2016). Communicating via photographs: a gendered analysis of Olympic athletes' visual self-presentation on Instagram. *Sport Management Review*, 19(2), 133–145, <https://doi.org/10.1016/j.smr.2015.03.002>.
- Harris, J., Brison, N. (2022). A tale of two brands: examining elite female athletes' branding and self-presentation strategies over time. *International Journal of Sport Communication*, 16(1), 12–20, <https://doi.org/10.1123/ijsc.2022-0113>.
- Hasaan, A., Kerem, K., Biscaia, R., Kwame, J., Agyemang, A. (2018). A conceptual framework to understand the creation of athlete brand and its implications. *International Journal of Sport Management and Marketing*, 18(3), 169–198, <https://doi.org/10.1504/IJSMM.2018.091753>.
- Khedher, M. (2015). A brand for everyone: guidelines for personal brand managing. *Journal of Global Business Issues*, 9(1), 19–27.
- Kopecka-Piech, K. (2015). Innowacyjność przemysłów kreatywnych. Media a sport. [W:] K. Kopecka-Piech (red.), *Sport wielokrotnie. Innowacyjne zastosowanie nowych mediów* (ss. 261–279). Wrocław: AWF, Katedra Komunikacji i Zarządzania w Sporcie.
- Kunkel, T., Biscaia, R. (2020). Sport brands: brand relationships and consumer behavior. *Sport Marketing Quarterly*, 129(1), <https://doi.org/10.32731/SMQ.291.032020.01>.
- Kunkel, T., Doyle, J., Funk, D. (2014). Exploring sport brand development strategies to strengthen consumer involvement with the product – the case of the Australian A-League. *Sport Management Review*, 17(4), 470–483, <https://doi.org/10.1016/j.smr.2014.01.004>.
- Lebel, K., Danylchuk, K. (2012). How tweet it is: a gendered analysis of professional tennis players' self-presentation on Twitter. *International Journal of Sport Communication*, 5(4), 461–480, <https://doi.org/10.1123/ijsc.5.4.461>.
- Lobpries, J., Bennett, G., Brison, N. (2018). How I perform is not enough: exploring branding barriers faced by elite female athletes. *Sport Marketing Quarterly*, 27(1), 5–17. <https://doi.org/10.32731/SMQ.271.032018.01>.
- Peng, W., Jung, H.-Y. (2024). Strategic branding approaches for women professional athletes via self-presentation theory and social role theory. *Studies in Social Science and Humanities*, 3(4), 21–25.
- Sauder, M.H., Blaszk, M. (2016). 23 players, 23 voices: an examination of the U.S. Women's National Soccer Team on Twitter during the 2015 World

- Cup. *Communication and Sport*, 6(2), 175–202, <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2167479516685579>.
- Staskeviciute-Butiene, I., Bradauskienė, K., Hervàs, C. (2014). Athletes' personal brand as a success factor for start-up. *Transformations in Business and Economics*, 13(2A), 526–540.
- Toffoletti, K., Thorpe, H. (2018). The athletic labour of femininity: the branding and consumption of global celebrity sportswomen on Instagram. *Journal of Consumer Culture*, 18(2), 298–316, <https://doi.org/10.1177/1469540517747068>.

ABSTRACT

Personal branding of female football players on social media:
enabling and limiting factors

Introduction. The study was designed to determine whether female football players engage in personal branding on social media, how this process is implemented, and which factors support or limit its development in the context of women's football. **Material.** The study included 100 female football players representing various levels of competition in Poland. **Methods.** A diagnostic survey method was employed using an original questionnaire administered in electronic form (CAWI). Brand awareness and overall image-related activity were assessed for the entire sample, and a distinct subgroup of players reporting engagement in personal branding on social media ($n = 44$) was further analysed. The data were analysed using descriptive statistics, the chi-square test and Cramér's V coefficient ($p < 0.05$). **Results.** Although awareness of the concept of a brand is nearly universal (98.2%), only a limited number of respondents engage in concrete personal branding activities. The findings indicated that the primary constraints were technical shortcomings and appearance-related pressure. A clear majority of players (84%) indicated the need for clubs to appoint a marketing specialist. **Conclusions.** Only 44% of female football players acknowledged engaging in personal branding on social media, suggesting that these platforms are predominantly used for private and entertainment purposes. The process of personal brand development was found to be intuitive and spontaneous, with 95% of players lacking both a communication plan and professional support. Barriers to personal brand development included difficulties with content editing, concerns about social evaluation and insufficient marketing support from clubs. The players expressed a need for greater professionalisation and expert support, with one of their key motivations being the promotion of women's football. **Keywords:** personal brand, social media, women's football

MARTA SOBKOWIAK, JULIA CIAŻYŃSKA

Wydział Nauk o Kulturze Fizycznej, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

PORÓWNANIE EFEKTYWNOŚCI JEDNORAZOWEJ SESJI ĆWICZEŃ ODDECHOWYCH I GRY RUCHOWEJ Z WYKORZYSTANIEM WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI W OPTYMALIZACJI CZASU REAKCJI U MŁODYCH DOROSŁYCH – BADANIA PILOTAŻOWE

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena i porównanie wpływu jednej sesji ćwiczeń oddechowych oraz gry ruchowej w wirtualnej rzeczywistości (ang. *virtual reality*, VR) na czas reakcji prostej i złożonej u młodych dorosłych. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 16 młodych dorosłych (11 kobiet i 5 mężczyzn) w wieku $24,38 \pm 2,11$ roku. Osoby leworęczne stanowiły 18,75% ($n = 3$). **Metody.** Badani deklarowali aktywność fizyczną na poziomie min. 2 godz. dziennie (potwierdzoną 5-dniowym dzienniczkiem). Zachowali 24-godzinną abstynencję od alkoholu, nikotyny, kofeiny i teiny, min. 6 godz. snu oraz dobry stan zdrowia. Zastosowano model pomiarów powtarzanych obejmującym 4 punkty czasowe. Badanych przydzielono do sesji ćwiczeń oddechowych lub gry ruchowej w VR. Czas reakcji mierzono 4-przyciskową aparaturą, analizując czas i poprawność reakcji. **Wyniki.** U osób poddanych ćwiczeniom oddechowym bezpośrednio po sesji wydłużył się czas reakcji prostej (PR: z 0,277 do 0,290 s; LR: z 0,274 do 0,285 s; efekt umiarkowany $d = 0,35$), przy jednoczesnym nieznacznym skróceniu czasu reakcji złożonej (z 0,611 do 0,607 s). W grupie osób biorących udział w grze ruchowej bezpośrednio po sesji czas reakcji złożonej uległ wydłużeniu (z 0,543 do 0,560 s), a w pomiarze odroczonym odnotowano wyraźną poprawę w czasie reakcji prostej, zwłaszcza dla kończyny niedominującej (skrócenie z 0,260 do 0,247 s), dla której odnotowano największą wielkość efektu ($d = 0,51$). **Wnioski.** Rodzaj interwencji w VR determinował doraźną sprawność psychomotoryczną młodych dorosłych. Wybór konkretnej formy aktywności VR powinien być dopasowany do celu (pobudzenia lub wyciszenia). Analiza lateralizacji wskazuje, że jednorazowa sesja VR w stopniu największym optymalizowała odroczony czas reakcji kończyny niedominującej (lewej), co ukazuje potencjał technologii immersyjnych w wyrównywaniu dysproporcji w sprawności sensomotorycznej. **Słowa kluczowe:** czas reakcji prostej, czas reakcji złożonej, immersja, wirtualna rzeczywistość, ćwiczenia oddechowe

WPROWADZENIE

Współczesna diagnostyka psychomotoryczna wskazuje na prosty czas reakcji (ang. *simple reaction time*, SRT) jako fundamentalny miernik oceny sprawności ośrodkowego układu nerwowego (OUN) oraz koordynacji sen-

somotorycznej. SRT definiowany jest jako interwał czasowy wpływający od momentu początkowej prezentacji pojedynczego bodźca do chwili zapoczątkowania zdeterminowanej odpowiedzi motorycznej, co dostarcza kluczowych informacji o neurofizjologicznej zdolności jednostki do przetwarzania informacji i inicjowania ruchu. Parametr ten uznawany jest za jeden z najbardziej obiektywnych wskaźników wydolności kognitywnej, odzwierciedlający nie tylko szybkość przewodnictwa nerwowego, ale także zdolność do koncentracji uwagi i efektywność integracji sensoryczno-motorycznej w odpowiedzi na zmienne czynniki środowiskowe (Zeydabadi i wsp., 2019). SRT jest czułym markerem zmian zachodzących pod wpływem stresorów zewnętrznych, takich jak hałas, które mogą istotnie upośledzać funkcje kognitywne i wydłużać procesy decyzyjne poprzez zakłócanie procesów uwagi i pamięci operacyjnej. Jednocześnie pomiar SRT znajduje szerokie zastosowanie w analizie sprawności sportowców, w której różnice w warunkach pomiarowych, od kontrolowanego środowiska laboratoryjnego po warunki naturalne, mogą rzutować na stabilność uzyskiwanych wyników (Żak i wsp., 2023). Proces fizjologiczny leżący u podstaw reakcji prostej charakteryzuje się sekwencyjnością i obejmuje pięć odrębnych etapów, do których należą kolejno: początkowa aktywacja receptora, transmisja pobudzenia do OUN, przetwarzanie sygnału wraz z przygotowaniem impulsu motorycznego w obrębie struktur OUN, przesyłanie sygnału z OUN do mięśni efektorowych oraz finałowe pobudzenie mięśni inicjujące akt motoryczny.

W niniejszych badaniach sprawność sensomotoryczną badano przy użyciu standaryzowanego miernika czasu reakcji firmy Alfa-Electronics (Ustrzyki Dolne, Polska). Zastosowanie obiektywnego pomiaru sprzętowego pozwoliło na precyzyjną rejestrację latencji, wyrażonej w milisekundach, pomiędzy losowym bodźcem a reakcją motoryczną badanego. Aparatura ta jest uznanym narzędziem w diagnostyce psychomotorycznej, wykorzystywanym m.in. do oceny wpływu czynników dystrykcyjnych, takich jak muzyka czy zadania kognitywne, na sprawność sensomotoryczną młodych dorosłych (Pieknik-Janiszewska i Maciaszek, 2024). Ponadto znajduje szerokie zastosowanie w badaniach porównawczych obejmujących różne grupy zawodowe i sportowe, pozwalając na precyzyjne różnicowanie czasu reakcji prostej oraz złożonej w zależności od charakteru podejmowanego wysiłku fizycznego i umysłowego (Berdowska i wsp., 2025). Wykorzystanie tego systemu pomiarowego w badaniach nad czasem reakcji pozwala na rzetelną weryfikację liczby poprawnych odpowiedzi oraz pominąć, co ma kluczowe znaczenie dla oceny bezpieczeństwa w za-

daniach o wysokim stopniu złożoności (Berdowska i wsp., 2025; Pieknik-Janiszewska i Maciaszek, 2024).

System Alfa-Electronics generuje sygnały wizualne oraz dźwiękowe do oceny szybkości przetwarzania i stabilności uwagi, co sprawia, że uzyskane dane odzwierciedlają trwałe adaptacje nerwowo-mięśniowe, a nie chwilowe wahania wydolności psychofizycznej. W celu zachowania trafności oceny i wyeliminowania odpowiedzi antycypacyjnych bodźce świetlne w serii trzydziestu prób prezentowane były z różną częstotliwością. W odróżnieniu od zadań z wyborem (ang. *choice reaction task*, CRT), które wymagają złożonego podejmowania decyzji, selekcji bodźców i wieloaspektowej analizy sygnałów, SRT charakteryzuje się brakiem sygnałów zakłócających lub alternatywnych wymogów odpowiedzi, co skutkuje istotnie krótszymi okresami latencji. Czas reakcji złożonej jest natomiast parametrem znacznie bardziej obciążającym poznawczo, gdyż angażuje procesy różnicowania bodźców i hamowania reakcji na sygnały niepożądane, co w świetle najnowszych doniesień (Berdowska i wsp., 2025) czyni go optymalnym narzędziem do oceny wpływu zmęczenia oraz specyficznych form treningu na efektywność kognitywną człowieka.

Szczególnym aspektem badawczym poruszonym w niniejszej pracy jest wpływ interwencji oddechowych na dynamikę odpowiedzi motorycznej. Jak wskazują najnowsze doniesienia (Akçay i wsp., 2024), techniki świadomego oddychania mogą modulować aktywność autonomicznego układu nerwowego, wpływając na równowagę między jego komponentą współczulną a przywspółczulną. Duże znaczenie w tym kontekście ma nie tylko sam rytm oddechowy, ale także specyficzny wzorec ruchowy klatki piersiowej i brzucha. Badania nad mechaniką oddychania (Tomich i wsp., 2007) wskazują, że kontrolowane ćwiczenia, takie jak oddychanie przeponowe, prowadzą do istotnych przesunięć w objętości oddechowej oraz zmieniają dynamikę ruchu klatki piersiowej względem powłok brzusznych. Zwiększona rekrutacja przepony oraz optymalizacja wzorca klatkowo-brzusznego prowadzi do poprawy wydajności wentylacyjnej, co bezpośrednio przekłada się na lepsze dotlenienie struktur ośrodkowego układu nerwowego. Zmiana ta, poprzez obniżenie aktywności pomocniczych mięśni oddechowych i redukcję napięcia psychofizycznego, sprzyja skróceniu latencji sygnałów nerwowych. W konsekwencji bardziej efektywna praca układu oddechowego może usprawniać procesy decyzyjne i skracać czas odpowiedzi motorycznej, zwłaszcza w sytuacjach wymagających wysokiej koncentracji uwagi.

Wykorzystanie technologii wirtualnej rzeczywistości (ang. *virtual reality*, VR) w badaniach nad sprawnością psychomotoryczną otwiera nowe możliwości w zakresie precyzyjnego modelowania obciążeń kognitywnych i emocjonalnych. Środowisko VR, dzięki zjawisku immersji oraz poczuciu obecności, pozwala na tworzenie ustandaryzowanych protokołów treningowych, które wywołują u użytkowników realne odpowiedzi fizjologiczne i psychologiczne (Wieczorek i wsp., 2024). Doniesienia literaturowe wskazują, że interwencje oparte na VR, w tym zwłaszcza techniki uważności (ang. *breathwork*), mogą znacząco redukować poziom lęku, stresu oraz pobudzenia przed snem, co stanowi istotny fundament dla stabilności parametrów czasu reakcji. Co więcej, wirtualne środowisko sprzyja procesom relaksacji poprzez odcięcie od dystraktorów świata zewnętrznego, co może prowadzić do poprawy afektu i redukcji objawów chorobowych w różnych grupach klinicznych oraz u osób zdrowych (Wieczorek i wsp., 2024).

Zastosowanie VR wykracza jednak poza cele relaksacyjne, znajdując zastosowanie również w symulacjach o wysokim stopniu dynamiki i stresu operacyjnego. Badania nad wykorzystaniem VR w treningu taktycznym i sytuacjach zagrożenia (Dillard i wsp., 2023) wykazują, że immersyjne środowisko może służyć jako platforma do nauki regulacji fizjologicznej w warunkach silnego pobudzenia współczulnego układu nerwowego. Wprowadzenie technik wolnego oddychania podczas aktywnych sesji VR pozwala na skuteczną redukcję biomarkerów stresu, takich jak poziom kortyzolu w ślinie oraz sprzyja modulacji zmienności rytmu serca. Mechanizm ten sugeruje, że integracja ćwiczeń oddechowych z technologią VR nie tylko łagodzi reakcję stresową organizmu, ale może również optymalizować gotowość do działania, co bezpośrednio rzutuje na efektywność procesów decyzyjnych i szybkość odpowiedzi motorycznej (Dillard i wsp., 2023).

Istotnym czynnikiem determinującym dynamikę odpowiedzi motorycznej jest asymetria funkcjonalna półkul mózgowych, która rzutuje na zróżnicowanie procesów poznawczych i emocjonalnych człowieka. Jak wskazują doniesienia Sabiniewicz i Głąbińskiego (2015), lateralizacja funkcji mózgowych nie ogranicza się jedynie do dychotomicznego podziału na sferę werbalną i niewerbalną, lecz obejmuje złożoną współpracę obu półkul w zakresie kontroli motorycznej i przetwarzania bodźców sensorycznych. Specjalizacja półkulowa przejawia się m.in. w dominacji jednej ze stron ciała, co w testach czasu reakcji często uwidacznia się poprzez różnice w latencji między kończyną dominującą a niedominującą. Zrozumienie mechanizmów asymetrii jest kluczowe przy interpretacji wpływu

interwencji zewnętrznych, takich jak wirtualna rzeczywistość, na optymalizację sprawności psychomotorycznej. Wykorzystanie technologii immersyjnych może sprzyjać angażowaniu struktur mózgowych w sposób, który dąży do wyrównywania dysproporcji funkcjonalnych, co stanowi istotny aspekt plastyczności neuronalnej i efektywności sensomotorycznej u młodych dorosłych (Sabiniewicz i Głębiński, 2015).

Dopełnieniem analizy procesów psychomotorycznych jest uwzględnienie uwarunkowań stylu życia, w tym higieny snu oraz regularnej aktywności fizycznej, które determinują sprawność układu nerwowego młodych dorosłych (Lachowicz i wsp., 2025). Jak wskazują najnowsze analizy, czynniki te stanowią niezbędne tło dla interpretacji wyników uzyskiwanych w środowisku immersyjnym, w którym intensywna stymulacja, np. poprzez gry ruchowe (ang. *exergames* lub *active video games*), może być silnym bodźcem aktywizującym procesy uwagi i koordynacji oko-ręka (Lachowicz i wsp., 2025). Zestawienie tych właściwości VR z pomiarem czasu reakcji prostej i złożonej pozwala na głębsze zrozumienie adaptacji organizmu wobec skrajnie różnych bodźców immersyjnych.

CEL BADAŃ

Głównym celem podjętych badań była ocena oraz porównanie doraźnego wpływu dwóch odmiennych interwencji w środowisku wirtualnej rzeczywistości: sesji ćwiczeń oddechowych o charakterze wyciszającym oraz dynamicznej gry ruchowej o charakterze pobudzającym, na parametry czasu reakcji prostej (SRT) i złożonej (CRT) u młodych dorosłych.

MATERIAŁY I METODY

Osoby badane

Wstępną fazą badań objęto 18 młodych dorosłych będących studentami Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu. W celu zapewnienia najwyższej rzetelności pomiarów psychomotorycznych u wszystkich kandydatów przeprowadzono zobiektywizowaną ocenę funkcji wzrokowych za pomocą testu pola widzenia peryferyjnego (PP). Kryterium kwalifikacyjne do zasadniczej części eksperymentu stanowiło uzyskanie wyniku całkowitego kąta widzenia oraz pola widzenia na poziomie powyżej 120°. Na podstawie uzyskanych wyników z dal-

szezo udziału w procedurze wykluczono dwie osoby, których wyniki (odpowiednio 113,63° i 119,53°) nie spełniały założonego progu wydolności sensorycznej.

Ostatecznie badaniami objęto 16 osób (średnia wieku: $24,38 \pm 2,11$ roku), w tym 11 kobiet (68,75%) oraz 5 mężczyzn (31,25%). Do udziału w projekcie zakwalifikowano osoby deklarujące regularną aktywność fizyczną, co miało na celu ograniczenie wpływu niskiego poziomu sprawności ogólnej na uzyskiwane wyniki czasu reakcji. Kryterium włączenia było podejmowanie aktywności ruchowej na poziomie co najmniej 2 godz. dziennie, co zostało zweryfikowane na podstawie dzienniczka aktywności prowadzonego przez 5 kolejnych dni (4 dni poprzedzające badanie oraz dzień 0 – dzień realizacji procedury eksperymentalnej). Uczestnicy badań zostali przydzieleni do dwóch równolicznych grup, w sposób losowy (randomizacja prosta), co miało minimalizować wpływ czynników zakłócających. W celu standaryzacji warunków pomiaru badani zostali poproszeni o zachowanie abstynencji od alkoholu, nikotyny oraz substancji zawierających teinę i kofeinę, przez minimum 24 godz. przed badaniem. Dodatkowo wymagano od nich, aby w dniu pomiarów byli wypoczęci (co najmniej 6 godz. snu w nocy poprzedzającej pomiar), zdrowi, w dobrym ogólnym samopoczuciu oraz aby nie wykazywali zaburzeń widzenia mogących wpływać na percepcję bodźców wzrokowych.

Metody

Interwencja obejmowała dwa warunki eksperymentalne: jednorazową sesję ćwiczeń oddechowych oraz zadanie w postaci gry ruchowej, realizowane w środowisku wirtualnej rzeczywistości (VR) z wykorzystaniem aplikacji FunFitLand. Zastosowanie technologii VR miało na celu zapewnienie kontrolowanych i powtarzalnych warunków ekspozycji na bodźce oraz zwiększenie zaangażowania uczestników w przebieg procedury eksperymentalnej.

Ćwiczenia oddechowe realizowano w trybie „Meditation”. Polegały one na wykonywaniu kontrolowanego, rytmicznego oddychania (wdech przez nos, wydech przez usta), które było synchronizowane z wizualnymi wskazówkami wirtualnego otoczenia i było połączone z elementami relaksacji psychofizycznej. Procedura przebiegała według ustalonego schematu, a wykreowane immersyjne środowisko VR wspierało koncentrację uwagi, ułatwiało wizualną regulację toru oddechowego oraz sprzyjało redukcji napięcia. Interwencja trwała 15 min.

Drugi warunek eksperymentalny stanowiło zadanie w formie interaktywnej gry ruchowej realizowanej w trybie „Boxing/Cardio”. Badani mieli reagować na dynamicznie pojawiające się bodźce wzrokowe (wirtualne cele wymagające wyprowadzania określonych ciosów bokserskich oraz uników w rytm utworów muzycznych), co w znacznym stopniu angażowało złożone procesy poznawcze, w tym percepcję, selektywną uwagę oraz koordynację oko–ręka. Zadanie miało charakter wysoce aktywizujący i wymagało ciągłego, szybkiego podejmowania decyzji oraz adekwatnej, dynamicznej reakcji motorycznej. Ta części interwencji również trwała 15 min. Analiza zachowań zdrowotnych w dobie poprzedzającej procedurę eksperymentalną pozwoliła na obiektywną ocenę stanu regeneracji i poziomu obciążenia fizycznego badanych, co stanowiło kluczowy element standaryzacji próby. Jak przedstawiono w tabeli 1, średni czas snu w całej grupie kształtował się na poziomie $7,47 \pm 0,65$ godz., co zgodnie z przyjętymi kryteriami włączenia oraz doniesieniami Lachowicza i wsp. (2025) gwarantowało optymalną wydolność OUN i stabilność procesów uwagi. Istotnym aspektem charakterystyki grupy był czas trwania podejmowanej aktywności fizycznej, który w dobie poprzedzającej badania wynosił średnio $2,63 \pm 0,63$ godz. Wartość ta potwierdza wysoką dyscyplinę badanych w realizacji wymogu co najmniej dwugodzinnego wysiłku dziennie, przy czym u mężczyzn odnotowano nieco dłuższy średni czas aktywności ($2,70 \pm 0,98$ godz.) przy jednocześnie większym zróżnicowaniu wewnątrzgrupowym. Deklarowany przez badanych odpoczynek, rozumiany jako bierna regeneracja w ciągu dnia, trwał średnio $2,88 \pm 1,02$ godz., przy czym w grupie kobiet był on o blisko 25 min dłuższy niż w grupie mężczyzn. Sumaryczne zestawienie zebranych parametrów wskazuje na homogeniczność badanej grupy pod względem higieny trybu życia oraz wysoką gotowość psychofizyczną do realizacji testów czasu reakcji w środowisku wirtualnej rzeczywistości.

Na podstawie analizy lateralizacji, kluczowej dla interpretacji organizacji funkcjonalnej układu nerwowego, wykazano, że osoby praworęczne stanowiły 81,25% ($n = 13$), a leworęczne 18,75% ($n = 3$). W zakresie dominacji kończyn dolnych prawonożność odnotowano u 87,5% badanych ($n = 14$), a lewnożność u 12,5% ($n = 2$). Ze względu na pilotażowy charakter badań oraz niewielką liczebność próby ($n = 16$) wyniki powinny być interpretowane z należytą ostrożnością. Ograniczona liczebność badanej grupy wpływa na moc statystyczną analiz oraz zawęża zakres wnioskowania, co w konsekwencji ogranicza możliwość uogólnienia rezultatów

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy ($n = 16$)

Zmienna		n (%) lub $\bar{x} \pm SD$	95%CI
Płeć	kobiety	11 (68,75)	–
	mężczyźni	5 (31,25)	–
Wiek (lata)		$24,38 \pm 2,11$	23,26–25,50
Lateralizacja (ręka)	praworęczni	13 (81,25)	–
	leworęczni	3 (18,75)	–
Lateralizacja (noga)	prawonożni	14 (87,5)	–
	lewonożni	2 (12,5)	–
Zachowania zdrowotne	czas snu (godz.)	$7,47 \pm 0,65$	7,12–7,82
	aktywność fizyczna (godz.)	$2,63 \pm 0,63$	2,29–2,97
	odpoczynek (godz.)	$2,88 \pm 1,02$	2,34–3,42
Percepcja wzrokowa	pole widzenia (°)	$169,32 \pm 8,38$	164,85–173,78

na populację ogólną. W związku z tym przedstawione wyniki wymagają dalszej weryfikacji w badaniach prowadzonych na większych, bardziej zróżnicowanych populacjach.

Ostateczną strukturę badanej próby oraz jej charakterystykę psychofizyczną przedstawiono w tabeli 1.

Aparatura badawcza

Do oceny sprawności psychomotorycznej wykorzystano standaryzowane testy czasu reakcji prostej oraz złożonej z zastosowaniem aparatury diagnostycznej firmy Alfa-Electronics (Ustrzyki Dolne, Polska) (ryc. 1). Pomiary SRT przeprowadzano oddzielnie dla kończyny górnej prawej i lewej, co pozwoliło na analizę ewentualnych różnic lateralizacyjnych. Pomiary CRT przeprowadzono łącznie dla kończyny górnej prawej i lewej oraz dolnej prawej i lewej. Badani przystępowali do pomiarów bez obuwia.

Analizowane zmienne obejmowały:

- czas reakcji (szybkość reakcji),
- średnią czasów reakcji z serii prób,
- czas minimalny,



Rycina 1. Stanowisko do oceny sprawności psychomotorycznej z wykorzystaniem miernika czasu reakcji Alfa-Electronics

- czas maksymalny,
- rozstęp wyników (różnica między czasem maksymalnym i minimalnym),
- liczbę braków reakcji,
- liczbę reakcji między bodźcami (reakcji przedwczesnych).

Procedura badawcza

Eksperyment przeprowadzono w modelu pomiarów powtarzanych obejmującym cztery punkty czasowe: (T0) pomiar bazowy realizowany miesiąc przed interwencją, (T1) pomiar bezpośrednio przed sesją VR, (T2) pomiar bezpośrednio po zakończeniu sesji oraz (T3) pomiar odroczony – po 15-minutowej przerwie odpoczynkowej. Taki schemat umożliwił ocenę zarówno natychmiastowego efektu zastosowanych oddziaływań, jak i krótkotrwałej trwałości uzyskanych zmian.

W każdym punkcie czasowym uczestnicy projektu wykonywali testy w dwóch wariantach, z wykorzystaniem czteroprzyciskowej wersji aparatu:

1. Prosty czas reakcji (SRT): badany reagował na każdy pojawiający się bodziec świetlny (czerwony, żółty, zielony) lub dźwiękowy w moż-

liwie najkrótszym czasie. Badany reagował na każdy pojawiający się bodziec świetlny dowolną kończyną górną, bez konieczności różnicowania odpowiedzi, co pozwalało na ocenę bazowej szybkości przewodnictwa nerwowo-mięśniowego.

2. Złożony czas reakcji (CRT): ten wariant wymagał selektywnego przetwarzania informacji, ponieważ odpowiedź była ściśle przypisana do rodzaju bodźca. Zastosowano następujący schemat decyzyjny:
 - bodziec czerwony – reakcja prawą nogą (PN),
 - bodziec żółty – reakcja prawą ręką (PR),
 - bodziec zielony – reakcja lewą ręką (LR),
 - bodziec dźwiękowy – reakcja lewą nogą (LN).

Po zakończeniu pomiarów w punkcie T1 badani przystępowali do ustandaryzowanej 3-minutowej rozgrzewki przygotowującej organizm do wysiłku i optymalizującej poziom pobudzenia. Następnie realizowano 15-minutową sesję w goglach Meta Quest 2 w aplikacji *FunFitLand*, zgodnie z przypisaną grupą:

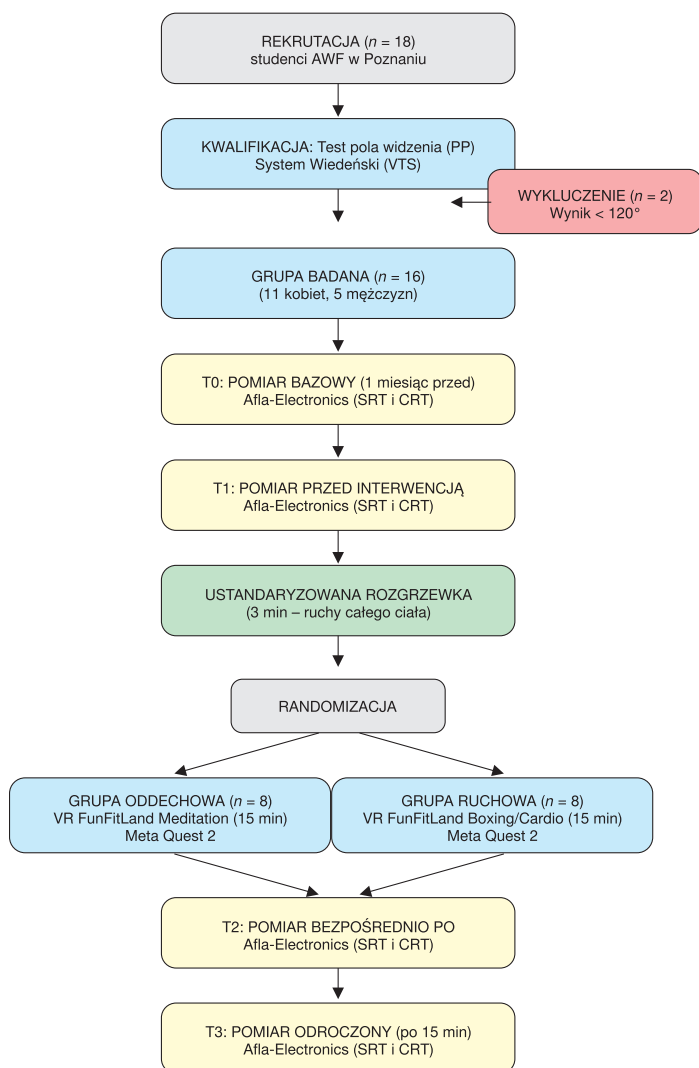
- trening oddechowy (gra „Meditation”): ukierunkowany na regulację rytmu i głębokości oddechu oraz modulację pobudzenia układu autonomicznego, przy zachowaniu łagodnej aktywności całego ciała, w warunkach pełnej immersji;
- trening ruchowy (gra „Boxing/Cardio”): wymagający intensywnej koordynacji wzrokowo-ruchowej i dynamicznego reagowania w warunkach pełnej immersji.

Pomiary po interwencji (T2 i T3) realizowano w takich samych warunkach jak pomiary wstępne. Takie podejście pozwoliło zapewnić wysoką rzetelność i porównywalność uzyskanych danych statystycznych. Schemat protokołu badawczego wraz z punktami czasowymi pomiarów i interwencji VR przedstawiono na rycinie 2.

Analiza statystyczna

Zebrany materiał empiryczny poddano obróbce statystycznej przy użyciu pakietu Statistica (v. 13.3, TIBCO Software Inc.) oraz arkusza kalkulacyjnego Excel. Na pierwszym etapie analizy dla wszystkich zmiennych mierzalnych wyliczono podstawowe statystyki opisowe: średnią arytmetyczną ($\bar{x}$) oraz odchylenie standardowe (SD).

W celu precyzyjnej charakterystyki badanej grupy oraz zapewnienia porównywalności wyników dla kluczowych parametrów demograficznych



Rycina 2. Protokół przebiegu badań z uwzględnieniem punktów czasowych pomiarów oraz interwencji w środowisku wirtualnej rzeczywistości

i behawioralnych wyznaczono 95-procentowe przedziały ufności (95% CI). Pozwoliło to na obiektywną ocenę homogeniczności próby w zakresie wieku, czasu snu oraz deklarowanej aktywności fizycznej.

Istotność różnic wewnątrzgrupowych pomiędzy kolejnymi punktami pomiarowymi (T1 – przed interwencją, T2 – bezpośrednio po interwencji, T3 – odroczonej) weryfikowano za pomocą analizy zmian średnich. Aby określić praktyczne znaczenie zaobserwowanych różnic w czasie reakcji

prostej (SRT) i złożonej (CRT), obliczono wielkość efektu przy użyciu współczynnika d Cohena. Przyjęto następującą klasyfikację siły efektu:

- 0,2 – efekt mały,
- 0,5 – efekt średni,
- 0,8 – efekt duży.

W analizie lateralizacji wykorzystano statystyki opisowe wyrażone w wartościach bezwzględnych (n) oraz procentowych (%). Wszystkie testy statystyczne przeprowadzono przy założeniu poziomu istotności $\alpha = 0,05$. Dane przedstawiono w formie tabelarycznej oraz graficznej, co umożliwiło kompleksową interpretację dynamiki zmian sprawności psychomotorycznej pod wpływem dwóch odmiennych środowisk wirtualnej rzeczywistości.

Ze względu na małą liczebność próby ($n = 16$) zrezygnowano z testowania istotności statystycznej (wartości p), aby uniknąć błędu drugiego rodzaju. Skupiono się na analizie statystyk opisowych oraz ocenie wielkości różnic za pomocą współczynnika d Cohena.

WYNIKI

Analiza czasu reakcji prostej i złożonej

Analiza zmian w zakresie czasu reakcji prostej wykazała odmienną charakterystykę odpowiedzi na bodziec w zależności od rodzaju zastosowanej interwencji oraz lateralizacji kończyn górnych.

W grupie osób poddanych ćwiczeniom oddechowym (tab. 3) zaobserwowano tendencję do wydłużenia latencji odpowiedzi prostej bezpośrednio po sesji VR (T2). Średni czas dla prawej ręki wzrósł o 0,013 s ($d = 0,35$), a dla ręki lewej o 0,011 s ($d = 0,33$). W pomiarze odroczonym (T3) czas reakcji ręki niemal powrócił do wartości wyjściowych (0,280 s), podczas gdy dla lewej ręki odnotowano dalszy, niewielki wzrost (do 0,289 s). Sugeruje to, że stan relaksacji indukowany przez moduł „Meditation” obniża doraźnie reaktywność na proste bodźce.

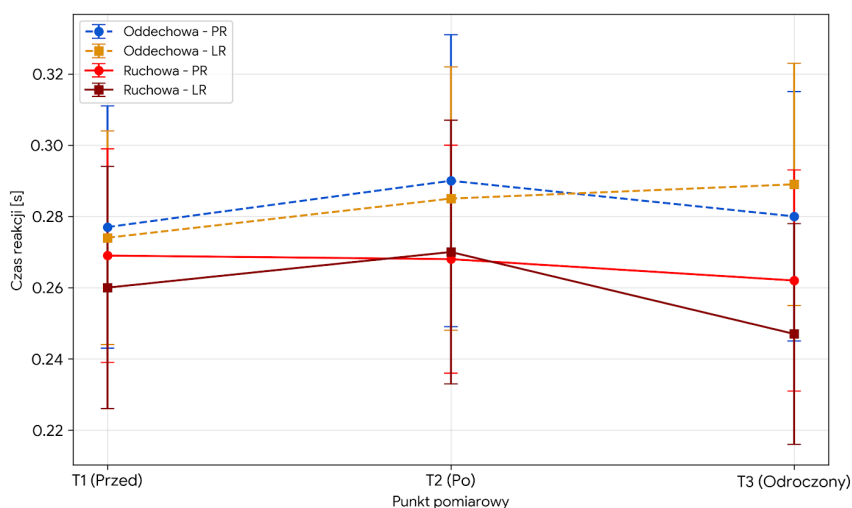
Test CTR, wymagający selektywnej percepcji i wyboru odpowiedniego efektora, ujawnił potencjalnie korzystny wpływ obu form interwencji na procesy kognitywne, przy czym dynamika tych zmian była zróżnicowana.

W grupie badanych poddanych ćwiczeniom oddechowym poprawa nastąpiła już bezpośrednio po interwencji (nieznaczny spadek z 0,611 s do 0,607 s) i pogłębiła się w pomiarze odroczonym (T3) (0,589 s). Łączne skrócenie czasu reakcji o 0,022 s względem pomiaru bazowego ($d = 0,35$)

może sugerować poprawę efektywności procesów decyzyjnych pod wpływem wysilenia i regulacji oddechu.

Szczegółową dynamikę zmian SRT w obu grupach przedstawiono na rycinie 3. Zauważono wyraźną rozbieżność w reakcji na bodziec bezpośrednio po sesji VR (T2). Podczas gdy w grupie oddechowej (linie przerywane) nastąpiło równoległe wydłużenie latencji dla obu kończyn górnych, w grupie ruchowej (linie ciągłe) odnotowano stabilizację wyników prawej ręki przy jednoczesnym wzroście czasu reakcji ręki lewej. Klucowym elementem obrazu jest punkt T3, w którym krzywa reprezentująca lewą rękę w grupie ruchowej osiąga najniższe wartości w całym eksperymencie, co potwierdza odroczony efekt stymulacji motorycznej.

W grupie osób objętych ćwiczeniami ruchowymi (tab. 2) w odniesieniu do SRT odnotowano nieliniowy trend w pomiarach powysiłkowych.



Rycina 3. Dynamika zmian czasu reakcji prostej (SRT)

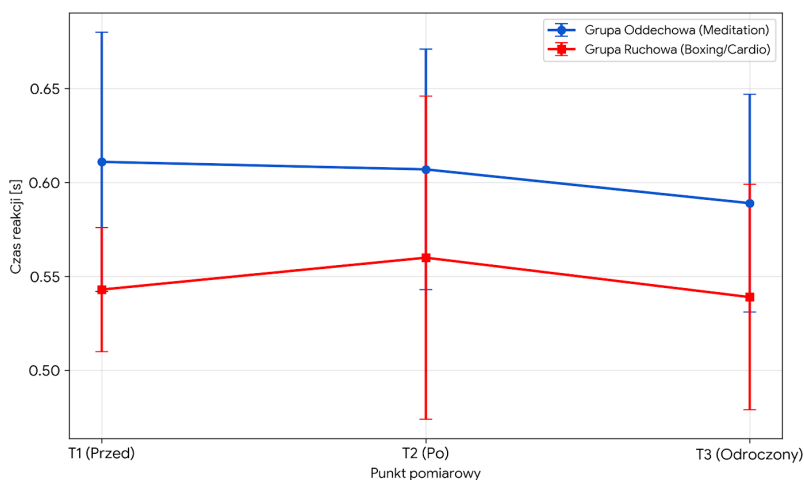
Tabela 2. Czas reakcji w grupie badanych poddanych ćwiczeniu ruchowemu

Rodzaj reakcji	Przed interwencją (T1) $\bar{x} \pm SD$	Bezpośrednio po interwencji (T2) $\bar{x} \pm SD$	Po 15 min od interwencji (T3) $\bar{x} \pm SD$
Prosty – PR (s)	0,269 ± 0,030	0,268 ± 0,032	0,262 ± 0,031
Prosty – LR (s)	0,260 ± 0,034	0,270 ± 0,037	0,247 ± 0,031
Złożony (s)	0,543 ± 0,033	0,560 ± 0,086	0,539 ± 0,060

PR – prawa ręka, LR – lewa ręka

Bezpośrednio po wysiłku (T2) czas reakcji lewej ręki uległ nieznacznemu wydłużeniu o 0,010 s (prawdopodobny efekt zmęczenia ostrego), z kolei po 15 min odpoczynku (T3) nastąpiło wyraźne skrócenie latencji dla obu kończyn górnych względem pomiaru bazowego (T1). Szczególnie istotną poprawę odnotowano w przypadku lewej ręki – czas reakcji skrócił się z 0,260 s do 0,247 s. Dla tej zmiany odnotowano średnią wielkość efektu wynoszącą $d = 0,51$, co świadczy o istotnym, odroczonym wpływie bodźca ruchowego na szybkość przewodnictwa nerwowo-mięśniowego kończyny niedominującej.

Analizując wyniki pomiaru CRT bezpośrednio po sesji (T2), stwierdzono pogorszenie wyniku (wzrost średniego czasu z 0,543 s do 0,560 s). Biorąc pod uwagę nieznaczną wielkość efektu dla tej zmiany ($d = 0,26$), można wnioskować, że intensywny wysiłek w środowisku immersyjnym w pierwszej fazie (bezpośrednio po ekspozycji) stanowi jedynie delikatne obciążenie dla procesów kognitywnych, co objawia się dłuższą latencją w zadaniach wymagających selekcji bodźców. Porównanie procesów decyzyjnych w obu grupach (ryc. 4) ukazuje dwie odmienne strategie adaptacyjne układu nerwowego. Grupa oddechowa charakteryzowała się niemal liniowym trendem spadkowym, co sugeruje, że wyciszenie immersyjne sprzyjało systematycznej poprawie koncentracji. Przebieg krzywej w grupie ruchowej był z kolei nieliniowy: początkowy wzrost czasu reakcji w punkcie T2 obrazuje fazę przejściowego zmęczenia i przeciążenia informacyjnego, po której następuje wyraźny spadek latencji w punkcie T3, a to może wskazywać na wystąpienie zjawiska swoistej „superkompensacji poznawczej”.



Rycina 4. Dynamika zmian czasu reakcji złożonej (CRT)

Porównanie międzygrupowe

Zestawienie wyników obu grup pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Charakter zmian SRT: interwencja oddechowa wydaje się prowadzić do uspokojenia i lekkiego spowolnienia prostych odruchów, podczas gdy interwencja ruchowa stymuluje szybkość reakcji, zwłaszcza w odniesieniu do kończyny niedominującej (LR).
2. Efektywność w CRT: u badanych z obu grup wykazano poprawę w wykonaniu zadań złożonych, co może sugerować, że środowisko VR samo w sobie (poprzez wysoką immersję) stymuluje procesy uwagi. Odnotowano jednak, że w grupie oddechowej poprawa była stabilna i natychmiastowa, a w grupie ruchowej „odroczone”, poprzedzona fazą zmęczenia i relatywnie niewielka.
3. Lateralizacja: osoby z grupy ruchowej wykazały znacznie większy postęp w zakresie sprawności lewej ręki ($\Delta = 0,013$ s) w porównaniu z badanymi objętymi zadaniem oddechowym, u których czas reakcji lewej ręki wydłużył się. Zdaje się to wspierać hipotezę o potencjalnej skuteczności bokserskich gier VR w aktywizacji sfery motorycznej obu półkul mózgowych.

DYSKUSJA

Celem podjętych badań było porównanie skuteczności dwóch odmiennych interwencji realizowanych w środowisku wirtualnej rzeczywistości (VR) – sesji ćwiczeń oddechowych oraz dynamicznej gry ruchowej, w aspekcie optymalizacji czasu reakcji prostej (SRT) i złożonej (CRT) u młodych dorosłych. Założono, że interwencja o charakterze relaksacyjnym będzie modulować poziom pobudzenia autonomicznego, sprzyjając uporządkowanemu przetwarzaniu informacji, natomiast gra ruchowa doprowadzi do zwiększenia aktywizacji psychomotorycznej i skrócenia latencji odpowiedzi.

Bezpośrednio po zakończeniu interwencji (T2) odnotowano odmienne wzorce zmian w obu badanych grupach. W grupie poddanej ćwiczeniom oddechowym zaobserwowano wydłużenie SRT (umiarkowana wielkość efektu, $d = 0,35$ dla kończyny dominującej), przy jednoczesnym nieznacznym skróceniu CTR. Z kolei w grupie ruchowej odnotowano natychmiastową poprawę SRT (w przypadku kończyny niedominującej uległ on wręcz przejściowemu wydłużeniu), natomiast w teście reakcji złożonej

stwierdzono wzrost wartości średnich (nieznaczna wielkość efektu, $d = 0,26$), przy stosunkowo dużej zmienności indywidualnej. Wyniki te sugerują, że jednorazowa interwencja relaksacyjna i aktywizująca oddziałują selektywnie na różne komponenty reakcji – odpowiednio na poziom wykonawczy oraz decyzyjny.

Akçay i wsp. (2024) wykazali korzystny wpływ ćwiczeń oddechowych na czas reakcji w perspektywie natychmiastowej i długoterminowej. Jednakże w badaniach własnych odnotowano bezpośrednio po sesji przejściowe wydłużenie reakcji prostej. Rozbieżność tę można interpretować w świetle regulacyjnego wpływu oddechu na układ autonomiczny. Jak wskazują Tomich i wsp. (2007), różne techniki oddechowe modyfikują aktywność mięśniową i tor oddechowy, wpływając na poziom pobudzenia. Możliwe, że obniżenie napięcia psychofizycznego bezpośrednio po interwencji skutkowało chwilowym spowolnieniem reakcji automatycznych, przy jednoczesnej poprawie organizacji procesów decyzyjnych. Takie założenie wspierają przeglądy dotyczące interwencji oddechowych i uważności (ang. *mindfulness*) w VR, które podkreślają ich rolę w redukcji stresu i stabilizacji funkcjonowania poznawczego (Tarrant i wsp., 2018), a także badania wykazujące istotny spadek biomarkerów stresu po treningu wolnego oddychania (Zaccaro i wsp., 2018).

Odroczona poprawa SRT w grupie objętej grą ruchową (odnotowana w punkcie T3) pozostaje zgodna z metaanalizą, którą opracowali Richlan i wsp. (2023), wskazującą na pozytywny wpływ treningu wirtualnego na funkcje poznawczo-motoryczne. Jednocześnie wzrost CTR bezpośrednio po interwencji VR może sugerować przejściowe przeciążenie procesów selekcji i podejmowania decyzji w warunkach intensywnej stymulacji bodźcowej.

Opracowania dotyczące wpływu czynników rozpraszających oraz obciążeń środowiskowych na czas reakcji sugerują, że wysoka immersyjność i wielobodźcowość środowiska VR mogą chwilowo zwiększać wymagania poznawcze. Dodatkowo obserwowana zmienność indywidualna odpowiedzi może być determinowana przez lateralizację funkcjonalną półkul mózgowych (Serrien i wsp., 2006) oraz różnice w tempie adaptacji do środowiska immersyjnego, w tym zróżnicowaną podatność na objawy choroby symulatorowej (Lawson, 2014).

Podsumowując, charakter zastosowanej interwencji wyraźnie determinował kierunek obserwowanych zmian: ćwiczenia oddechowe sprzyjały stabilizacji procesów decyzyjnych kosztem szybkości reakcji automatycz-

nych, natomiast gra ruchowa w VR poprawiała szybkość reakcji prostej (w fazie odroczonej), przy jednoczesnym przejściowym obciążeniu procesów składających się na reakcję złożoną. Rozbieżności względem części dostępnych badań mogą wynikać z jednorazowego charakteru interwencji, relatywnie niewielkiej liczebności próby oraz różnic w protokołach eksperymentalnych (rodzaj gry, czas ekspozycji). Uzyskane wyniki stanowią mocną podstawę do dalszych badań nad różnicowym wpływem interwencji relaksacyjnych i immersyjnych na sprawność psychomotoryczną w sporcie i rehabilitacji.

OGRANICZENIA I PERSPEKTYWY DALSZYCH BADAŃ

Mimo uzyskania interesujących poznawczo wyników niniejszy projekt badawczy jest obarczony pewnymi ograniczeniami, które należy brać pod uwagę podczas interpretacji danych oraz planowania kolejnych badań:

1. Liczebność i homogeniczność grupy: badania przeprowadzono na stosunkowo nielicznej grupie studentów ($n = 16$), co ogranicza możliwość generalizowania wyników na całą populację. Choć homogeniczność grupy (podobny wiek, poziom sprawności i styl życia) zwiększyła rzetelność wewnętrzną, kolejne badania powinny obejmować większe próby o szerszym przekroju wiekowym i różnym stopniu zaawansowania motorycznego.
2. Czas trwania ekspozycji: zastosowano 15-minutową interwencję. Warto sprawdzić, czy wydłużenie sesji VR do 30 lub 45 min nie doprowadziłoby do pojawienia się objawów *cybersickness* (choroby symulatorowej), co mogłoby drastycznie zmienić wyniki dotyczące sprawności psychomotorycznej.
3. Brak ścisłej kontroli obciążenia wysiłkowego: w grupie ruchowej („Boxing/Cardio”) intensywność wysiłku zależała od indywidualnego zaangażowania badanego. Na kolejnych etapach badań wskazane jest monitorowanie tętna za pomocą pulsometrów, tak aby precyzyjnie skorelować intensywność wysiłku fizycznego ze zmianami w latencji reakcji.
4. Długofalowość efektów: w badaniach skupiono się na efektach doraźnych i krótkoterminowych (do 15 min po sesji). Interesującym kierunkiem byłaby ocena trwałości uzyskanych zmian po kilku godzinach lub po cyklu regularnych treningów VR trwającym kilka tygodni.

WNIOSKI

1. Zastosowane interwencje w środowisku wirtualnej rzeczywistości wywierały różny wpływ na sprawność psychomotoryczną badanych w zależności od charakteru bodźca: interwencja oddechowa sprzyjała stabilizacji procesów decyzyjnych (CRT), natomiast interwencja ruchowa stymulowała szybkość reakcji wykonawczych (SRT).
2. Jednorazowa sesja gry ruchowej typu „boxing” w VR prowadziła do wyraźnego skrócenia czasu reakcji prostej w fazie odroczonej (15 min po wysiłku), ze szczególnym uwzględnieniem kończyny niedominującej, co może wskazywać na umiarkowany, ale zauważalny efekt aktywizacji neuronalnej obu półkul mózgowych.
3. Trening oddechowy w środowisku immersyjnym, mimo doraźnego spowolnienia prostych reakcji motorycznych (prawdopodobnie wskutek obniżenia poziomu pobudzenia autonomicznego), wpływał korzystnie na adekwatność i szybkość reakcji złożonych, co sugeruje poprawę kontroli kognitywnej.
4. W obu badanych grupach najkorzystniejsze parametry sprawności psychomotorycznej odnotowano po 15-minutowym okresie restytucji, co wskazuje na konieczność uwzględniania fazy adaptacji powysiłkowej w projektowaniu treningów z wykorzystaniem technologii VR.
5. Analiza wielkości efektu (d Cohena) dla kluczowych zmiennych sugeruje, że dynamiczne bodźce immersyjne stanowią relatywnie silniejszy stymulator w kierunku poprawy prostej szybkości przewodnictwa nerwowo-mięśniowego w fazie odroczonej, podczas gdy środowisko wyciszające oddziałuje słabiej, ale stabilniej na sferę poznawczo-decyzyjną.

BIBLIOGRAFIA

- Akçay, B., Türkmen, O.B., Kaya Mutlu, E., Demir, C., Kurtoğlu, A., Bayetov, K., Alotaibi, M.H., Elkhali, S.M. (2024). immediate and long-term effects of breathing exercises on reaction time. *Medicina*, 60(11), 1890, <https://doi.org/10.3390/medicina60111890>.
- Berdowska, A., Dusiński, D., Bandurska, K., Tsos A. (2025). Effort and reaction time in weightlifters, manual workers, and students: a pilot study. *Physical Activity Review*, 13(1), 97–105, <https://doi.org/10.16926/par.2025.13.09>.
- Dillard, C.C., Martaindale, H., Hunter, S.D., McAllister, M.J. (2023). Slow breathing reduces biomarkers of stress in response to a virtual reality active shooter training drill. *Healthcare*, 11(16), 2351, <https://doi.org/10.3390/healthcare11162351>.
- Lachowicz, M., Serweta-Pawlik, A., Jamro, D., Żurek, G. (2025). Analiza korelacji między długością snu a nasileniem objawów choroby symulatorowej w wa-

- runkach wirtualnej rzeczywistości podczas powtarzalnych sesji gry Beat Saber. [W:] M. Słowińska-Lisowska, K. Michalik (red.), *Problemy badawcze „wokół człowieka” w świetle doniesień młodych naukowców* (ss. 55–75). Studia i Monografie AWF we Wrocławiu, 146.
- Lawson, G., Shaw, E., Roper, T., Nilsson, T., Bajorunaite, L., Batool, A. (2019). *Immersive virtual worlds: multi-sensory virtual environments for health and safety training*. Nottingham: University of Nottingham, University Park, arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/1910.04697>.
- Pieknik-Janiszewska, M., Maciaszek, J. (2024). The impact of distracting factors on reaction time in student drivers and non-drivers. *Physical Activity Review*. Pobrano 7.04.2026 z: <https://www.researchsquare.com/article/rs-4788836/v1>.
- Richlan, F., Weiß, M., Kastner, P., Braid, J. (2023). Virtual training, real effects: a narrative review on sports performance enhancement through interventions in virtual reality. *Frontiers in Psychology*, 14, 1240790, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1240790>.
- Sabiniewicz, M., Głąbiński, A. (2015). Wybrane aspekty wpływu asymetrii funkcjonalnej półkul mózgowych na funkcjonowanie poznawcze oraz emocjonalne człowieka. *Aktualności Neurologiczne*, 15(4), 205–209, <https://doi.org/10.15557/AN.2015.0027>.
- Serrien, D.J., Ivry, R.B., Swinnen, S.P. (2006). Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(2), 160–166, <https://doi.org/10.1038/nrn1849>.
- Tarrant, J., Viczko, J., Cossaree, K. (2018). Virtual reality for anxiety reduction: a comparison of mindfulness and guided imagery techniques. *Frontiers in Psychology*, 9, 2029, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02029>.
- Tomich, G.M., França, D.C., Diório, A.C.M., Britto, R.R., Sampaio, R.F., Pereira, V.F. (2007). Breathing pattern, thoracoabdominal motion and muscular activity during three breathing exercises. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 40(10), 1409–1417, <https://doi.org/10.1590/S0100-879X2006005000165>.
- Wieczorek, A., Schrank, F., Renner, K.H., Wagner, M. (2024). Psychological and physiological health outcomes of virtual reality-based mindfulness interventions: a systematic review and evidence mapping of empirical studies. *Digital Health*, 10, 1–48, <https://doi.org/10.1177/20552076241272604>.
- Zaccaro, A., Piarulli, A., Laurino, M., Garbella, E., Menicucci, D., Neri, B., Gemignani, A. (2018). How breath-control can change your life: a systematic review on psycho-physiological correlates of slow breathing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 353, <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00353>.
- Zeydabadi, A., Askari, J., Vakili, M., Mirmohammadi, S.J., Ghovveh, M.A., Mehrparvar, A.H. (2019). The effect of industrial noise exposure on attention, reaction time, and memory. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 92(1), 111–116, <https://doi.org/10.1007/s00420-018-1361-0>.
- Żak, M., Mikrut, G., Sobota, G. (2023). Measurement of simple reaction time of the cyclist in the laboratory and natural environment condition. *Sensors*, 23(8), 3898, <https://doi.org/10.3390/s23083898>.

ABSTRACT

A comparison of the effectiveness of a single session of breathwork and a virtual reality-based movement game in improving reaction time in young adults: a pilot study

Introduction. The study was designed to assess and compare the effects of a single session of breathwork and a virtual reality-based movement game on simple and choice reaction times in young adults. **Material.** The study included 16 young adults aged 24.38 ± 2.11 years. Female participants accounted for 68.75% of the sample ($n = 11$). The mean self-reported sleep duration was 7.5 ± 0.65 h. Left-handed individuals accounted for 18.75% of participants ($n = 3$). Participants reported engaging in physical activity for at least 2 hours per day. **Methods.** Participants were instructed to maintain good health status during the 24 h preceding the test, to refrain from consuming alcohol, nicotine, caffeine and theine, and to obtain at least 6 h of sleep. A repeated measures design including four time points was used. Participants were assigned to either a breathwork session or a VR-based movement game. Reaction time was measured using a four-button apparatus, with analysis of both reaction time and reaction accuracy. **Results.** Among participants assigned to the breathwork session, simple reaction time was prolonged immediately following the session (PR: 0.277 $\rightarrow$ 0.290 s; LR: 0.274 $\rightarrow$ 0.285 s; moderate effect size, $d = 0.35$), accompanied by a slight reduction in choice reaction time (from 0.611 to 0.607 s). In the group participating in the movement game, choice reaction time was prolonged immediately following the session (from 0.543 to 0.560 s). However, in the delayed assessment (after 15 min of rest), a clear improvement in simple reaction time was noted, especially in the non-dominant limb (decrease from 0.260 to 0.247 s), for which the greatest effect size was observed ($d = 0.51$). **Conclusions.** The type of virtual reality intervention clearly influenced the immediate psychomotor performance of young adults. The choice of a specific VR-based activity should be aligned with the intended outcome (stimulation or relaxation). Lateralisation analysis demonstrated that a single VR session most effectively optimised delayed reaction time in the non-dominant (left) limb, highlighting the potential of immersive technologies in reducing disparities in sensorimotor performance.

Keywords: simple reaction time, choice reaction time, virtual reality, immersion, breathwork

Adres do korespondencji
e-mail: martasobkowiak123@interia.pl

MIŁOSZ TCHOROWSKI¹, PAULINA KOWALONEK¹,
JULITA PATYNA¹, JAKUB MALIK², KAMIL MICHALIK²

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Studenckie Koło Naukowe Sport Performance

WALIDACJA APLIKACJI MOBILNEJ W MONITOROWANIU PRĘDKOŚCI I JEJ OBNIŻENIA PODCZAS PRZYSIADU ZE SZTANGĄ NA BARKACH U OSÓB ĆWICZĄCYCH SIŁOWO

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była walidacja aplikacji mobilnej Metric VBT opartej na wizji komputerowej i porównanie z referencyjnym przetwornikiem liniowym Tendo Unit. Oceniano zgodność pomiaru średniej prędkości koncentrycznej (ang. *mean velocity*, MV) oraz spadku prędkości (ang. *velocity loss*, VL) w przysiadzie ze sztangą na barkach. **Materiał.** W projekcie wzięło udział 17 aktywnych fizycznie mężczyzn. **Metody.** Protokół obejmował pomiary MV przy narastających obciążeniach (40%, 60%, 80% 1RM) oraz ocenę wskaźnika VL w trakcie serii 8 powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM. Analiza statystyczna uwzględniała błąd systematyczny (bias), współczynnik korelacji wewnątrz-klasowej (ICC) oraz granice zgodności (LoA) przedstawione za pomocą wykresów Blanda–Altmana. **Wyniki.** Wykazano niską do umiarkowanej zgodność pomiarów MV między urządzeniami (ICC: 0,32–0,64) przy narastających obciążeniach, przy czym aplikacja systematycznie zaniżała wartości prędkości. W przypadku wskaźnika VL odnotowano całkowity brak zgodności z metodą referencyjną (ICC = 0,09). **Wnioski.** Wyniki wskazują na ograniczoną precyzję aplikacji Metric w bezpośrednim porównaniu z urządzeniem referencyjnym. Narzędzie to nie powinno być wykorzystywane do monitorowania VL w seriach ukierunkowanych na rozwój hipertrofii mięśniowej ze względu na ryzyko istotnych błędów pomiarowych. **Słowa kluczowe:** ćwiczenia siłowe, monitoring, spadek prędkości, prędkość ruchu sztangi

WPROWADZENIE

Trening siłowy stanowi fundamentalną interwencję stosowaną w celu rozwoju masy mięśniowej, poprawy wydajności sportowej oraz ogólnej sprawności fizycznej (Makaruk i wsp., 2024; Stojanović i wsp., 2025). Zgodnie z przyjętymi zasadami obciążenie zewnętrzne jest wyrażane najczęściej jako procent jednego powtórzenia maksymalnego (%1RM). Takie

podejście jest jednak narażone na błąd wynikający z dobowej zmienności jednego powtórzenia maksymalnego (ang. *one repetition maximum*, 1RM), która stanowi wypadkową adaptacji treningowej, bieżącej gotowości zawodnika, zmęczenia skumulowanego w mikrocyklu oraz stresorów pozatreningowych (Greig i wsp., 2020; Ritti-Dias i wsp., 2011; Schroeder i wsp., 2007). Co więcej, tabele określające liczbę możliwych do wykonania powtórzeń przy danym %1RM opierają się na wartościach uśrednionych, ignorując znaczną zmienność osobniczą (Nuzzo i wsp., 2024). W konsekwencji sztywne trzymanie się takich wytycznych może prowadzić do zjawiska niedotrenowania lub przetrenowania.

Nowoczesną alternatywą pozwalającą na precyzyjny monitoring obciążenia jest trening oparty na prędkości (ang. *velocity based training*, VBT) (Larsen i wsp., 2021). Metoda ta bazuje na odwrotnie proporcjonalnej zależności między obciążeniem zewnętrznym a prędkością ruchu, kiedy wraz ze wzrostem obciążenia prędkość koncentryczna maleje (Weakley i wsp., 2021). W ćwiczeniach takich jak przysiad ze sztangą na barkach parametry średniej prędkości (ang. *mean velocity*, MV) oraz średniej prędkości napędowej (ang. *mean propulsive velocity*, MPV) wykazują silną korelację z %1RM ($R^2 = 0,96$) (Sánchez-Medina i wsp., 2017). Zależność ta pozwala nie tylko na szacowanie ciężaru maksymalnego, ale także na precyzyjne sterowanie celem treningowym poprzez tzw. strefy prędkości. Każda strefa odpowiada określonemu zakresowi relacji siła-prędkość i wynikającej z tego dominującej adaptacji nerwowo-mięśniowej: od maksymalnej siły ($< 0,50$ m/s), przez obszar wysokiej mocy mięśniowej przy dużym oporze (ang. *strength-speed*; $0,50-0,75$ m/s), następnie rozwijanie mocy mięśniowej ($0,75-1,00$ m/s), pracę zdominowaną przez szybkie generowanie siły (ang. *speed-strength*; $1,00-1,30$ m/s), aż po strefę prędkościową ($> 1,30$ m/s), w której dominuje bardzo szybki skurcz mięśnia (Wang i wsp., 2026). Dzięki temu trener, znając prędkość ruchu sztangi, może weryfikować, czy zawodnik rzeczywiście pracuje nad pożądaną adaptacją motoryczną, co eliminuje domysły związane z subiektywnym odczuwaniem ciężaru. Oprócz doboru obciążenia VBT umożliwia monitorowanie spadku prędkości w serii (ang. *velocity loss*, VL) (Paulsen i wsp., 2025). Przy założeniu maksymalnej intencji ruchu spadek prędkości (np. o 20% lub 40% względem najszybszego powtórzenia) jest obiektywnym wskaźnikiem zmęczenia nerwowo-mięśniowego (Sánchez-Medina i González-Badillo, 2011). Umożliwia to zakończenie serii w optymalnym momencie, zamiast wykonywania sztywno założonej liczby powtórzeń.

Rozwój technologii, w tym akcelerometrów i przetworników liniowych (ang. *linear positional transducer*, LPT), zwiększył popularność VBT, jednak wysoki koszt urządzeń referencyjnych pozostaje istotną barierą dla wielu praktyków (Guerriero i wsp., 2018). Odpowiedzią na ten problem stają się rozwiązania mobilne, w tym aplikacja Metric VBT. W odróżnieniu od tradycyjnych metod wymagających fizycznych czujników, Metric wykorzystuje algorytmy wizji komputerowej (ang. *computer vision*) do śledzenia toru ruchu w czasie rzeczywistym za pomocą kamery smartfona. Choć aplikacje te stanowią obiecującą i niskokosztową alternatywę, ich dokładność wymaga rzetelnej weryfikacji. W dotychczasowych badaniach walidacyjnych skupiano się głównie na pojedynczych powtórzeniach z rosnącym obciążeniem (Renner i wsp., 2024; Trowell i wsp., 2024) i pomijano aspekt praktyczny, jakim są serie wielopowtórzeniowe ukierunkowane np. na wzrost masy mięśni szkieletowych. Brakuje również prac oceniających precyzję aplikacji w wyznaczaniu parametru VL.

CEL BADAŃ

Celem badań była walidacja aplikacji Metric VBT poprzez ocenę zgodności jej pomiarów średniej prędkości fazy koncentrycznej ruchu w przysiadzie ze sztangą na barkach z pomiarami urządzenia referencyjnego Tendo Unit w zakresie różnych wartości obciążenia zewnętrznego (40%–80% 1RM). Podjęto się też oceny zgodności wskaźnika utraty prędkości (VL) w serii ośmiu powtórzeń wykonywanej z obciążeniem 80% 1RM.

MATERIAŁ I METODY

Badania zostały zatwierdzone przez Senacką Komisję ds. Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (29/2024) i przeprowadzone zgodnie z Deklaracją Helsińską.

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 17 zdrowych, aktywnych fizycznie mężczyzn (studentów), którzy zgłosili się do projektu na ochotnika. Każdy z nich deklaruwał podejmowanie regularnej aktywności fizycznej oraz uczestnictwo w zajęciach praktycznych na uczelni: siłownia, siatkówka, piłka nożna, bieganie. O włączeniu do badań decydowały takie kryteria,

Tabela 1. Charakterystyka badanych ($n = 17$)

Zmienna	$\bar{x} \pm SD$
Wiek (lata)	21,8 $\pm$ 1,3
Wysokość ciała (cm)	182,5 $\pm$ 6,9
Masa ciała (kg)	83,5 $\pm$ 8,7
Aktywność fizyczna (godzin/tydzień)	6,2 $\pm$ 3,7
Staż treningowy (lata)	4,1 $\pm$ 2,4
1RM (kg)	120,3 $\pm$ 14,6

1RM – jedno maksymalne powtórzenie w przysiadzie ze sztangą

jak: (1) minimum dwuletni staż w zakresie treningu siłowego, (2) umiejętność wykonania przysiadu ze sztangą. Kryteriami wykluczenia były: (1) przebyty uraz kończyn dolnych w okresie trzech miesięcy poprzedzających badania, (2) brak znajomości maksymalnego obciążenia zewnętrznego możliwego do jednokrotnego podniesienia w przysiadzie ze sztangą. Uczestnicy zostali zapoznani z procedurą badań oraz udzielili pisemnej, świadomej zgody na udział w nich.

Wielkość próby określono a priori za pomocą oprogramowania G*Power 3.1 (Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Niemcy) (Faul i wsp., 2007). Wykonano obliczenia dla współczynnika zgodności wewnątrzklasowej (ang. *intraclass correlation coefficient*, ICC) w modelu dwuczynnikowym z efektami losowymi i oceną zgodności bezwzględnej [ICC(2,1)], przy założeniu minimalnie akceptowalnej zgodności na poziomie ICC = 0,75, oczekiwanej zgodności ICC = 0,90, poziomie istotności $\alpha = 0,05$ oraz mocy testu $(1-\beta) = 0,80$. Analiza pozwoliła wykazać, że minimalna wymagana liczba uczestników wynosi 15. W związku z tym próba 17 badanych została zrekrutowana do oceny zgodności pomiarów pomiędzy aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit, ze względu na potencjalny drop-out badanych. Szczegółową charakterystykę badanych przedstawiono w tabeli 1.

Projekt eksperymentu

Organizacja badań obejmowała dwie sesje testowe na siłowni oddzielone co najmniej 48-godzinną przerwą. Obie sesje odbywały się o tej samej porze dnia. Pierwsza sesja miała charakter zapoznawczy i służyła familaryzacji badanych mającej na celu zapoznanie ich z procedurami i sprzętem

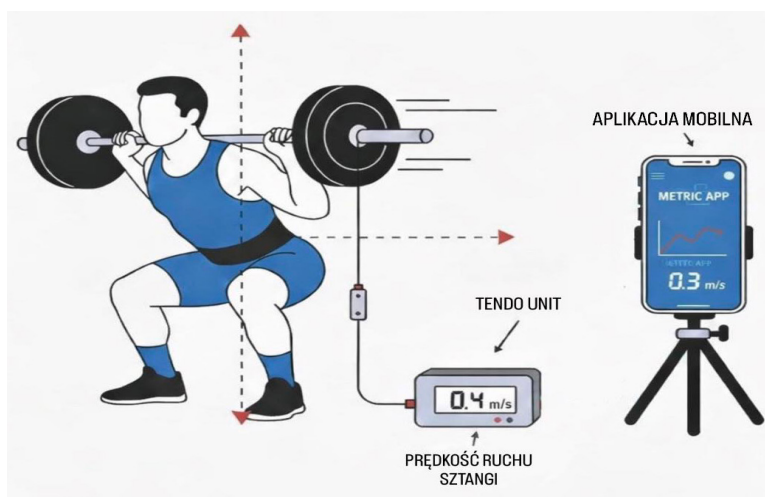
pomiarowym oraz zweryfikowanie poprawności technicznej wykonywanych ćwiczeń. Dodatkowo badanych poddano pomiarowi wysokości (cm) i masy ciała (kg) na wadze medycznej WPT 200 (Radwag, Radom, Polska). Druga sesja stanowiła test właściwy, podczas którego przeprowadzono protokół wyznaczenia 1RM. Każdy badany miał za zadanie wykonać jedną serię składającą się z ośmiu powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM. Jednocześnie rejestrowano parametry prędkości ruchu.

Procedura badawcza

Właściwą sesję rozpoczynano od ustandaryzowanej rozgrzewki, na którą składała się swobodna jazda na cycloergometrze przez 5 min, następnie 10 wykroków, 10 przysiadów z masą własnego ciała, 10 wykroków bocznych oraz 10 zawiasów biodrowych. Po rozgrzewce badany przystępował do wykonania protokołu narastającego obciążenia w celu wyznaczenia 1RM. W ramach serii wstępnych realizował po trzy powtórzenia z obciążeniem odpowiadającym kolejno 20%, 40% oraz 60% szacowanego 1RM. Następnie miał za zadanie wykonać pojedyncze powtórzenie z obciążeniem rzędu 80% i 90% szacowanego 1RM. Podczas serii wstępnych zarejestrowano parametry średniej prędkości dla obciążeń na poziomie 40%, 60% i 80%, które posłużyły do analizy porównawczej obu zastosowanych urządzeń pomiarowych. Po zakończeniu serii rozgrzewkowych przystępowano do pierwszej próby z obciążeniem maksymalnym. W przypadku powodzenia ciężar zwiększano o 2,5–5 kg, aż do momentu nieudanej próby lub utraty poprawnej techniki. Aby zminimalizować wpływ zmęczenia na wynik końcowy, w teście dopuszczono wykonanie maksymalnie pięciu prób. Między kolejnymi podejściami zastosowano 3-minutowe przerwy odpoczynkowe. Po ustaleniu wartości 1RM i 5 min odpoczynku uczestnik projektu wykonywał jedną serię testową składającą się z ośmiu powtórzeń z obciążeniem wynoszącym 80% aktualnego (właśnie wyznaczonego) 1RM. Celem tej części eksperymentu była ocena zdolności aplikacji do monitorowania spadku prędkości w warunkach narastającego zmęczenia.

Pomiar prędkość sztangi

Prędkości ruchu sztangi mierzono jednocześnie za pomocą dwóch niezależnych systemów. Metodą referencyjną był pomiar z wykorzystaniem przetwornika liniowego Tendo Unit (Tendo Sport Machines, Trencin, Słow-



Rycina 1. Wizualizacja stacji pomiarowej

wacja). Urządzenie to zostało przymocowane do sztangi linką ustawioną prostopadłe do podłoża (ryc. 1), co pozwalało na rejestrowanie pionowego toru przemieszczania ciężaru oraz precyzyjne wyznaczenie średniej prędkości koncentrycznej. Metodą testowaną była aplikacja mobilna Metric VBT (wersja 6.4.6) zainstalowana w urządzeniu mobilnym. Wszystkie nagrania testowe wykonano przy użyciu Iphone 16 e (Apple Inc., Cupertino, CA, USA). Zgodnie z procedurą walidacyjną urządzenie nagrywające umieszczono na statywie w odległości 3 m od sztangi, ustawiając je równoległe do niej, z boku osoby badanej. Wysokość kamery została dostosowana do poziomu bioder badanego w celu zminimalizowania błędu paralaksy. Aplikacja wykorzystywała algorytmy wizji komputerowej do śledzenia toru ruchu talerzy sztangi w czasie rzeczywistym. Metric VBT wymaga wprowadzenia wartości średnicy talerza, jeśli ta jest inna niż 450 mm. W niniejszych badaniach uwzględniono następujące wymiary talerzy: od 300 mm (5 kg i mniej) przez 350 mm (10 kg) do 450 mm (15 oraz 20 kg).

Analiza statystyczna

Do opracowania danych użyto programu IBM SPSS Statistics wersja 26 (IBM, Inc., Chicago, USA). Wyniki przedstawiono w postaci średniej arytmetycznej ($\bar{x}$) $\pm$ odchylenie standardowe (SD) oraz 95% przedziału ufności (95% CI). Do oceny normalności rozkładu badanych cech posłużył test Shapiro–Wilka, a jednorodność wariancji oceniono testem Levene’a.

W ocenie różnic pomiędzy metodami pomiarowymi w średniej prędkości fazy koncentrycznej w serii hipertroficznej (80% 1RM) zastosowano analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami (RM-ANOVA). Walidację aplikacji Metric VBT względem urządzenia Tendo Unit w pomiarze średniej prędkości ruchu sztangi przeprowadzono oddzielnie dla intensywności 40%, 60% i 80% 1RM, serii wielopowtórzeniowej (80% 1RM) oraz wskaźnika spadku prędkości (VL). Błąd systematyczny (bias) obliczono jako średnią różnicę między pomiarami Metric VBT i Tendo Unit. W celu określenia siły zależności pomiędzy metodami pomiarowymi wyliczono korelację liniową Pearsona (r). Współczynnik zgodności wewnątrzklasowej (ICC) został obliczony zgodnie z modelem dwuczynnikowym z efektami losowymi (ang. *two-way random*), pojedynczego pomiaru i zgodności bezwzględnej (ang. *absolute agreement*) [ICC(2,1)]. Przyjęto następującą interpretację wartości ICC: < 0,50 – niska zgodność; 0,50–0,75 – umiarkowana; 0,75–0,90 – wysoka; > 0,90 – bardzo wysoka. Wskaźnik typowego błędu pomiaru (ang. *typical error*, TE) obliczono jako stosunek SD różnic między pomiarami do pierwiastka z dwóch ($SD_{diff}/\sqrt{2}$), co jest powszechnie stosowaną metodą w badaniach zgodności metod pomiarowych (Hopkins, 2000). Ponadto przeprowadzono analizę zgodności metod pomiarowych metodą Blanda–Altmana przedstawiającą różnice między pomiarami (Metric vs Tendo) w funkcji ich średniej oraz wyznaczono granice zgodności (ang. *limits of agreement*, LoA) dla każdej intensywności. Za istotny statystycznie przyjęto poziom $p \leq 0,05$.

WYNIKI

W tabeli 2 zestawiono średnie wartości prędkości ruchu sztangi w fazie koncentrycznej w testowanych warunkach (rosnąca intensywność wysiłku i pojedyncza seria ze stałym obciążeniem) oraz wskaźnika VL.

Na rycinie 2 przedstawiono wartości średniej prędkości w fazie koncentrycznej podczas kolejnych powtórzeń w serii z obciążeniem 80% 1RM. Analiza wariancji z powtarzanymi pomiarami wykazała brak istotnych różnic pomiędzy urządzeniami [$F(1,32) = 0,17$; $p = 0,08$].

W tabeli 3 przedstawiono wskaźniki zgodności i błędu pomiaru średniej prędkości ruchu sztangi. Zgodność pomiarów między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit okazała się niska do umiarkowanej w całym analizowanym zakresie intensywności. Wykazano, że aplikacja zaniżała wartości średniej prędkości ruchu sztangi, zwłaszcza przy wyższych

Tabela 2. Prędkość ruchu sztangi mierzona aplikacją Metric VBT i urządzeniem Tendo Unit przy różnej wartości obciążenia zewnętrznego oraz VL w serii z 80% 1RM

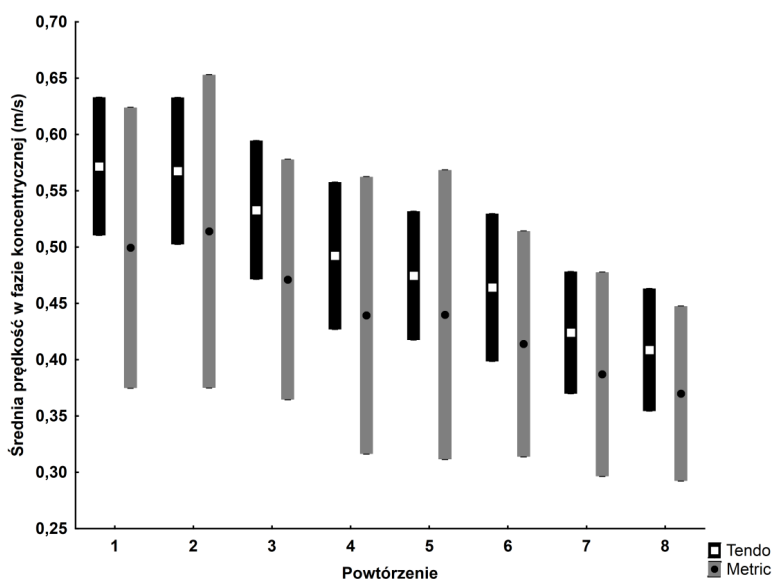
Obciążenie zewnętrzne/wskaźnik	Urządzenie	$\bar{x} \pm SD$	95% CI
40% 1RM (m/s)	Tendo	$1,12 \pm 0,09$	1,07–1,17
	Metric	$1,06 \pm 0,22$	0,95–1,17
60% 1RM (m/s)	Tendo	$0,95 \pm 0,10$	0,90–1,01
	Metric	$0,90 \pm 0,21$	0,79–1,01
80% 1RM (m/s)	Tendo	$0,73 \pm 0,15$	0,65–0,80
	Metric	$0,63 \pm 0,21$	0,52–0,73
Średnia z ośmiu powtórzeń z 80% 1RM (m/s)	Tendo	$0,49 \pm 0,05$	0,47–0,52
	Metric	$0,44 \pm 0,10$	0,39–0,50
Pierwsze powtórzenie z 80% 1RM	Tendo	$0,57 \pm 0,06$	0,54–0,60
	Metric	$0,50 \pm 0,12$	0,44–0,56
Ósme powtórzenie z 80% 1RM	Tendo	$0,41 \pm 0,05$	0,38–0,44
	Metric	$0,37 \pm 0,08$	0,33–0,41
VL (%)	Tendo	$33,90 \pm 7,80$	29,89–37,91
	Metric	$32,39 \pm 8,51$	28,32–37,07

1RM – jedno maksymalne powtórzenie w przysiadzie ze sztangą, VL – spadek prędkości

Tabela 3. Wskaźniki zgodności i systematycznego błędu pomiaru (TE) średniej prędkości ruchu sztangi za pomocą aplikacji Metric VBT i urządzenia Tendo Unit (średnia $\pm$ SD oraz 95% CI)

Obciążenie zewnętrzne	Błąd systematyczny (m/s)	r	ICC(2,1)	TE (m/s)
40% 1RM	$-0,06 \pm 0,19$ (od $-0,15$ do $0,04$)	$0,51$ $p < 0,05$	$0,36$ (od $-0,10$ do $0,71$)	$0,13$
60% 1RM	$-0,06 \pm 0,17$ (od $-0,14$ do $0,03$)	$0,64$ $p < 0,01$	$0,49$ od $(-0,06$ do $0,78)$	$0,12$
80% 1RM	$-0,10 \pm 0,18$ (od $-0,19$ do $0,00$)	$0,53$ $p < 0,05$	$0,45$ ($0,02 - 0,75$)	$0,13$
8 powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM	$-0,05 \pm 0,10$ (od $-0,10$ do $0,00$)	$0,32$ $p = 0,21$	$0,21$ (od $-0,20$ do $0,59$)	$0,07$

1RM – jedno maksymalne powtórzenie w przysiadzie ze sztangą

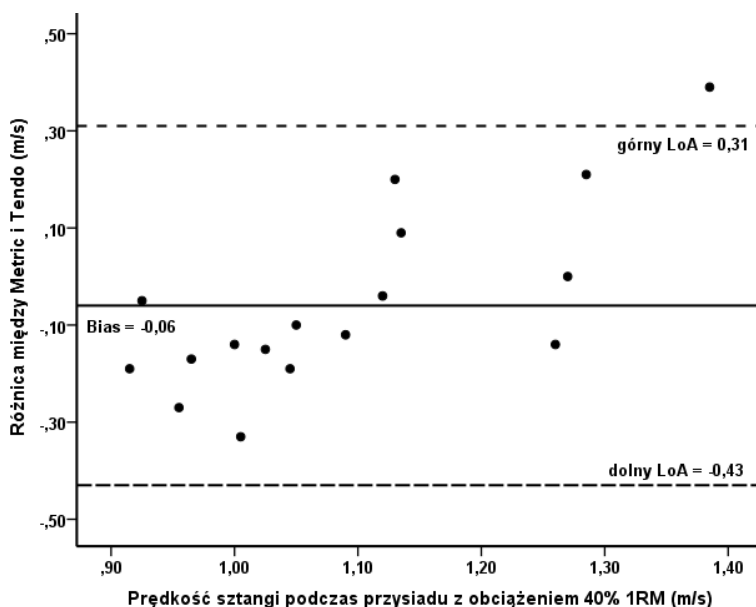


Rycina 2. Prędkość sztangi w fazie koncentrycznej podczas kolejnych powtórzeń w serii z obciążeniem 80% 1RM mierzonej za pomocą urządzenia Tendo Unit i aplikacji Metric VBT (średnia $\pm$ SD)

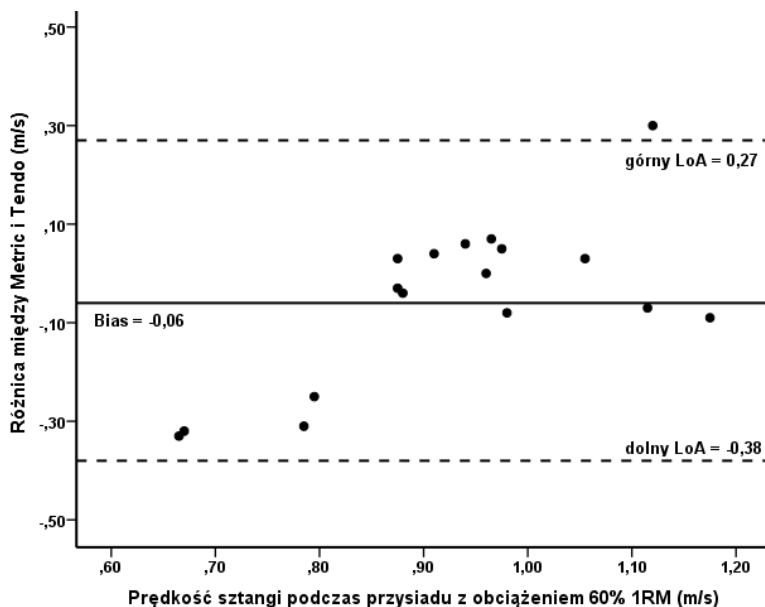
obciążeniach (80% 1RM). Mimo umiarkowanych zależności liniowych między metodami współczynniki ICC wskazywały na ograniczoną zgodność bezwzględną. TE pozostawał relatywnie wysoki w pomiarach pojedynczych prób, natomiast uśrednienie ośmiu powtórzeń w serii z obciążeniem 80% 1RM zmniejszało zmienność pomiarową, nie poprawiając jednak istotnie poziomu zgodności między urządzeniami.

W odniesieniu do wskaźnika VL w serii ośmiu powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM stwierdzono bardzo niską zgodność między urządzeniami. Nie obserwowano dużego błędu systematycznego ($-1,21 \pm 11,05\%$ (95% CI od $-6,89$ do $4,47$), jednak zależność między metodami była praktycznie zerowa ($r = 0,08$), a współczynnik ICC $0,09$ (95% CI od $-0,43$ do $0,54$) wskazuje na brak zgodności bezwzględnej. Jednocześnie odnotowano wysoki TE (7,81%), co sugeruje ograniczoną przydatność aplikacji Metric VBT do oceny spadku prędkości w serii hipertroficznej w porównaniu z urządzeniem referencyjnym.

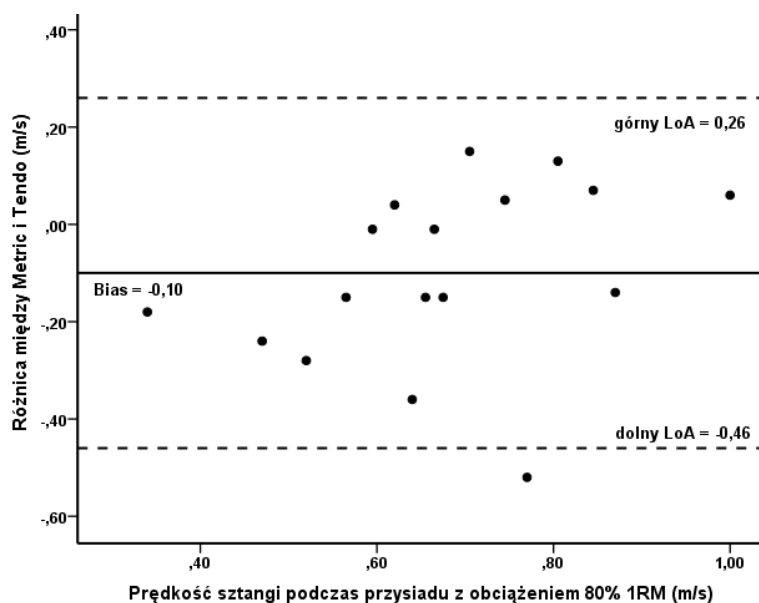
Analiza Blanda–Altmana dla średniej prędkości ruchu sztangi przy 40%, 60% i 80% 1RM wykazała tendencję aplikacji Metric VBT do zaniżania wartości prędkości względem urządzenia Tendo Unit (ryc. 3–7). W każdym z analizowanych obciążeń średnia różnica uzyskała wartość ujemną, jednak względnie niewielką w porównaniu z szerokością granic zgodności.



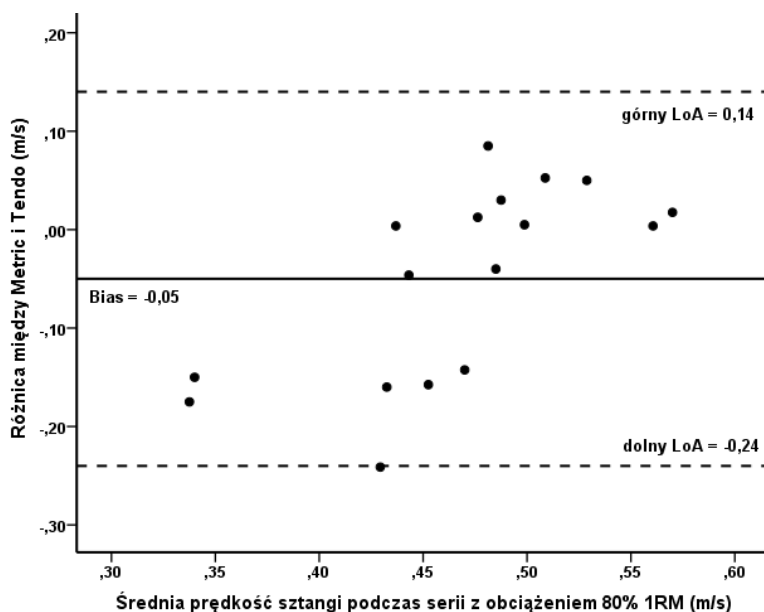
Rycina 3. Wykres Blanda–Altmana przedstawiający granice zgodności między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit dla średniej prędkości ruchu sztangi przy 40% 1RM (różnica obliczona jako Metric – Tendo)



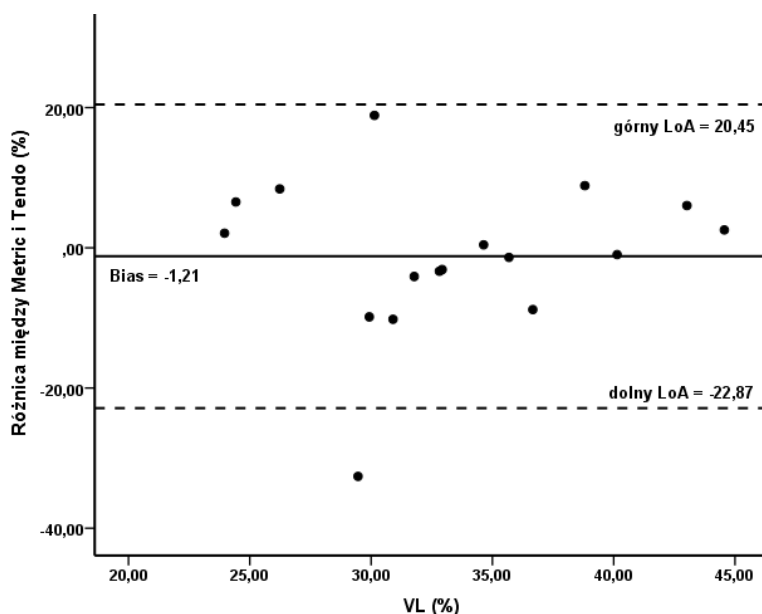
Rycina 4. Wykres Blanda–Altmana przedstawiający granice zgodności między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit dla średniej prędkości ruchu sztangi przy 60% 1RM (różnica obliczona jako Metric – Tendo)



Rycina 5. Wykres Blanda–Altmana przedstawiający granice zgodności między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit dla średniej prędkości ruchu sztangi przy 80% 1RM (różnica obliczona jako Metric – Tendo)



Rycina 6. Wykres Blanda–Altmana przedstawiający granice zgodności między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit dla średniej prędkości ruchu sztangi w serii ośmiu powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM (różnica obliczona jako Metric – Tendo)



Rycina 7. Wykres Blanda–Altmana przedstawiający granice zgodności między aplikacją Metric VBT a urządzeniem Tendo Unit dla wskaźnika VL w serii ośmiu powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM (różnica obliczona jako Metric – Tendo)

Granice zgodności okazały się szerokie we wszystkich warunkach, co wskazuje na znaczną zmienność indywidualnych różnic między metodami. Większość obserwacji mieściła się w wyznaczonych granicach zgodności, jednak rozrzut punktów sugeruje istotny udział TE. Nie zaobserwowano jednoznacznego wzorca wskazującego na obecność błędu proporcjonalnego wraz ze wzrostem prędkości.

Na podstawie analizy Blanda–Altmana dla średniej prędkości ruchu sztangii w serii ośmiu powtórzeń z obciążeniem 80% 1RM wykazano obecność niewielkiego ujemnego błędu systematycznego (bias = $-0,05$ m/s) wskazującego na tendencję aplikacji Metric VBT do zaniżania wartości prędkości względem urządzenia Tendo Unit (ryc. 6). Granice zgodności były szerokie (od $-0,24$ do $0,14$ m/s), co świadczy o znacznej zmienności indywidualnych różnic między metodami. Większość obserwacji mieściła się w wyznaczonych granicach zgodności, jednak rozrzut punktów sugeruje istotny udział TE. Podobne obserwacje odnotowano w odniesieniu do wskaźnika VL (ryc. 7), w przypadku którego bias wyniósł $-1,21$ (%), wystąpił też jeden przypadek odstający poniżej dolnego limitu zgodności ($-22,87\%$).

DYSKUSJA

Celem badań była walidacja zgodności pomiarów aplikacji mobilnej Metric VBT w monitorowaniu prędkości ruchu sztangi podczas wysiłku ze wzrastającym obciążeniem oraz ocena jej przydatności w wyznaczaniu spadku prędkości w serii z obciążeniem 80% 1RM. Uzyskane wyniki wskazują na wyraźne ograniczenia precyzji testowanego narzędzia. Zanotowano niską do umiarkowanej zgodność pomiarów średniej prędkości (ICC 0,32–0,64) oraz systematyczne zaniżanie prędkości względem zastosowanego urządzenia referencyjnego Tendo Unit. W przypadku kluczowego dla monitoringu zmęczenia parametru utraty prędkości (VL) aplikacja nie wykazała związku z metodą referencyjną (ICC = 0,09).

Kluczowym doniesieniem płynącym z przeprowadzonej analizy statystycznej, w tym wykresów Blanda–Altmana, jest fakt, że niska zgodność bezwzględna między urządzeniami wynikała przede wszystkim z wysokiego TE, który zwiększał rozrzut różnic i prowadził do obniżenia współczynnika ICC mimo relatywnie niewielkiego błędu systematycznego (bias). Choć aplikacja wykazywała stałą tendencję do zaniżania prędkości (bias od $-0,05$ do $-0,10$ m/s), to średnia różnica była stosunkowo niewielka w porównaniu z szerokością wyznaczonych granic zgodności (LoA). Wprawdzie większość obserwacji mieściła się w granicach LoA, ale ich szerokość wskazuje na ograniczoną precyzję metody, co bezpośrednio przełożyło się na niskie wartości współczynników ICC. Co więcej, we wszystkich analizowanych warunkach obciążenia zidentyfikowano pojedyncze przypadki skrajnie odstające od reszty pomiarów. Sugeruje to, że algorytmy wizji komputerowej zastosowane w aplikacji są wysoce wrażliwe na specyficzne, trudne do ustandaryzowania warunki pomiarowe lub indywidualne cechy kinematyki ruchu ćwiczącego. Uzyskane w niniejszej pracy wyniki są zbieżne z opracowaniami, które wskazują na zróżnicowaną skuteczność w pełni zautomatyzowanych aplikacji VBT. Renner i wsp. (2024) w badaniu na trójboistach również wykazali, że Metric VBT cechuje się ujemnym błędem systematycznym dla przysiadu. Podobnie Trowell i wsp. (2024) odnotowali, że aplikacja ta charakteryzowała się bardzo szerokimi granicami zgodności dla średniej prędkości (od $-0,03$ do $0,25$ m/s), co uznano za błąd przekraczający akceptowalne normy treningowe. Należy jednak zaznaczyć, że Puppyn i wsp. (2025) w najnowszych badaniach przedstawili skrajnie odmienne wyniki, raportując niemal perfekcyjną zgodność wewnątrzurządzeniową (ICC = 0,994) oraz wysoką korelację z systemem GymAware (ang. *concordance correlation coefficient*, CCC > 0,98).

Przedstawione rozbieżności można tłumaczyć kilkoma czynnikami metodologicznymi. Pierwszym z nich jest odległość i ustawienie kamery. W niniejszych badaniach, podobnie jak u Rennera i wsp. (2024), zastosowano dystans 3 m w celu objęcia pełnego zakresu ruchu. Autorzy uzyskujący wysoką rzetelność (Puppyn i wsp., 2025) często pozycjonują urządzenia nagrywające znacznie bliżej, tj. w odległości około 2 m. W technologii opartej na analizie obrazu większa odległość drastycznie zmniejsza gęstość pikseli reprezentujących śledzony obiekt (talerz sztangi), co potęguje tzw. szum pomiarowy i generuje błędy przy wyliczaniu pochodnej przemieszczenia w czasie. Drugą kwestią są zmiany w oprogramowaniu. Paradoksalnie w badaniach własnych wykorzystano nowszą wersję aplikacji (6.4.6) niż we wspomnianych badaniach walidacyjnych [np. wersja 4.8.1 u Puppyna i wsp. (2025)], co nasuwa wniosek, że aktualizacje algorytmów niekoniecznie przekładają się na poprawę ich rzetelności i wymagają dalszego dopracowania przez twórców. Trzecim istotnym aspektem jest specyfika samego ćwiczenia. W przysiadzie ze sztangą na wolnym ciężarze dochodzi do naturalnego przemieszczenia horyzontalnego. Jeśli algorytm wizji komputerowej nie kompensuje błędu paralaksy związanego z ruchem przód-tył bądź nadmiernie wygładza krzywą w punktach zwrotnych ruchu, rzeczywista prędkość wertykalna jest trwale zniekształcana.

Podjęto również próbę oceny zgodności wskaźnika utraty prędkości (VL), który stanowi jedno z kluczowych narzędzi w monitorowaniu intensywności i stopnia zmęczenia w treningu oporowym opartym na prędkości (Guerriero i wsp., 2018; Sanchez-Medina i González-Badillo, 2011). Choć walidacja parametrów pochodnych, takich jak VL, jest rzadziej podejmowana w literaturze przedmiotu niż ocena pojedynczych wartości prędkości, zagadnienie to ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ decyzje treningowe (np. o zakończeniu serii przy określonym progu VL) opierają się właśnie na precyzyjnym uchwyceniu zmian wewnątrz serii (Guerriero i wsp., 2018; Paulsen i wsp., 2025). Uzyskane wyniki wskazują jednak na bardzo niską zgodność aplikacji Metric VBT z urządzeniem referencyjnym w zakresie oceny VL. Skrajnie niska wartość ICC(0,09) wskazuje na bardzo ograniczoną zdolność aplikacji do wiarygodnego różnicowania badanych pod względem tego parametru, a szerokie granice zgodności na wykresie Blanda–Altmana (od -22,87% do 20,45%) potwierdzają dużą zmienność różnic między metodami. Oznacza to, że obserwowane rozbieżności mają przede wszystkim charakter losowy i mogą istotnie zniekształcać ocenę dynamiki zmęczenia. Należy podkreślić, że wskaźnik VL oblicza się jako

różnicę między najszybszym a najwolniejszym powtórzeniem w serii (Weakley i wsp., 2021), a zatem jego wartość jest szczególnie wrażliwa na kumulację błędu pomiarowego. Nawet jeśli błąd pojedynczego pomiaru prędkości mieści się w granicach uznawanych za akceptowalne, to przeciwne kierunkowo odchylenia (np. niedoszacowanie prędkości początkowej i przeszacowanie końcowej) prowadzą do multiplikacji błędu we wskaźniku VL. W konsekwencji niewielkie błędy losowe mogą generować znaczne zafałszowanie rzeczywistego poziomu utraty prędkości, a tym samym prowadzić do błędnych wniosków dotyczących stopnia zmęczenia mięśniowego i momentu zakończenia serii (Weakley i wsp., 2021). Oznacza to, że aplikacja Metric VBT, mimo potencjalnej użyteczności w ocenie pojedynczych wartości prędkości, nie zapewnia wystarczającej precyzji w monitorowaniu subtelnych zmian dynamiki ruchu w obrębie serii kilku powtórzeń. W świetle uzyskanych danych jej wykorzystanie do prawidłowej kontroli VL powinno być traktowane z dużą ostrożnością w warunkach treningu opartego na precyzyjnych progach utraty prędkości.

Podsumowując, wysoki TE znacząco ogranicza możliwość stosowania aplikacji Metric VBT w dokładnym monitorowaniu intensywności treningowej opartej na prędkości. Narzędzie to może być z powodzeniem wykorzystywane do ogólnego monitorowania trendów zmian prędkości w makrocyklu czy w celach motywacyjnych. Może być bardziej użyteczne w analizie trendów grupowych niż w podejmowaniu decyzji na poziomie indywidualnym. Zdecydowanie odradza się je w przypadku ścisłej autoregulacji obciążeń oraz monitorowania progu spadku prędkości w seriach ukierunkowanych na rozwój hipertrofii mięśniowej. W takich, profesjonalnych, zastosowaniach złotym standardem pozostają tradycyjne przetworniki liniowe.

OGRANICZENIA

Niniejszy projekt badawczy miał pewne ograniczenia, które należy uwzględnić przy interpretacji wyników oraz planowaniu przyszłych eksperymentów. Po pierwsze, badania przeprowadzono na stosunkowo niewielkiej i jednorodnej grupie młodych, sprawnych fizycznie mężczyzn, uzyskane u nich wyniki nie mogą być zatem bezpośrednio odnoszone do innych populacji, takich jak kobiety, osoby starsze czy – co szczególnie istotne – elitarni zawodnicy sportów siłowych. U zawodników na mistrzowskim poziomie sportowym dynamika ruchu przy obciążeniach submak-

symalnych jest często bardziej stabilna, a prędkości niższe, co mogłoby wpłynąć na charakterystykę błędu algorytmów aplikacji. Po drugie, protokół walidacyjny ograniczono wyłącznie do jednego ćwiczenia – przysiadu ze sztangą na barkach. Jest to ćwiczenie złożone, w którym tor ruchu sztangi rzadko jest idealnie wertykalny, występują naturalne przemieszczenia w płaszczyźnie horyzontalnej. Aplikacje oparte na wizji komputerowej 2D (jedna kamera) mogą być bardziej podatne na błędy paralaksy w tego typu ruchu w porównaniu z ćwiczeniami o bardziej liniowym torze, takimi jak wyciskanie leżąc czy przysiad na suwnicy Smitha. Nie jest więc pewne, czy mała rzetelność aplikacji Metric VBT potwierdziłaby się w innych ćwiczeniach siłowych.

Kluczowym ograniczeniem technicznym było ustawienie urządzenia nagrywającego. Zgodnie z przyjętą procedurą kamera została umieszczona w odległości 3 m od ćwiczącego. Choć taki dystans pozwalał na objęcie całego zakresu ruchu osoby testowanej, to może jednak zmniejszać gęstość pikseli przypadających na śledzony obiekt. Mogło to być bezpośrednią przyczyną szumu pomiarowego i gorszych wyników w porównaniu z badaniami, w których kamera znajdowała się bliżej, np. w odległości 2 m. Ponadto badania realizowano w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych, eliminując czynniki zakłócające typowe dla komercyjnych siłowni, takie jak zmienne oświetlenie czy obecność osób trzecich w tle kadru, co w praktyce mogłoby jeszcze bardziej obniżyć precyzję pomiaru. Dlatego zaleca się eksplorację wpływu takich czynników, jak odległość kamery lub zakłócenia wideo w celu lepszej weryfikacji użyteczności urządzenia. Ważnym ograniczeniem jest również fakt analizy pojedynczych powtórzeń z obciążeniem 40% 60% i 80% z protokołu testu 1RM, które stanowiły wartość szacunkową, a nie precyzyjnie wyznaczone obciążenie zewnętrzne.

Ważnym aspektem była potencjalna zmienność techniki w trakcie serii wielopowtórzeniowej. Narastające zmęczenie w serii ośmiu powtórzeń mogło wywoływać zmiany wzorca ruchowego, które urządzenie referencyjne i aplikacja mogły interpretować odmiennie.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wskazują na ograniczoną zgodność aplikacji Metric VBT w bezpośrednim porównaniu z urządzeniem referencyjnym Tendo Unit, zwłaszcza w kontekście monitorowania pojedynczych prób w przysiadzie ze sztangą. Jednocześnie wyniki sugerują, że aplikacja może

być używana do ogólnego monitorowania trendów zmian prędkości, jednak jej przydatność w precyzyjnym określaniu intensywności treningowej lub kontroli VL wydaje się ograniczona. Dlatego uzyskane wyniki nie uzasadniają jej stosowania do precyzyjnej kontroli spadku prędkości ruchu sztangi w seriach składających się z wielu powtórzeń.

BIBLIOGRAFIA

- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.G., Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191, <https://doi.org/10.3758/bf03193146>.
- Greig, L., Stephens Hemingway B.H.S., Aspe, R.R., Cooper, K., Comfort, P., Swinton, P.A. (2020). Autoregulation in resistance training: addressing the inconsistencies. *Sports Medicine*, 50(11), 1873–1887, <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01330-8>.
- Guerriero, A., Varalda, C., Piacentini, M.F. (2018). The role of velocity based training in the strength periodization for modern athletes. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 3(4), 55, <https://doi.org/10.3390/jfmk3040055>.
- Hopkins, W.G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine*, 30(1), 1–15, <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>.
- Larsen, S., Kristiansen, E., van den Tillaar, R. (2021). Effects of subjective and objective autoregulation methods for intensity and volume on enhancing maximal strength during resistance-training interventions: a systematic review. *PeerJ*, 9, e10663, <https://doi.org/10.7717/peerj.10663>.
- Makaruk, H., Starzak, M., Tarkowski, P., Sadowski, J., Winchester, J. (2024). The effects of resistance training on sport-specific performance of elite athletes: a systematic review with meta-analysis. *Journal of Human Kinetics*, 91(Spec Issue), 135–155, <https://doi.org/10.5114/jhk/185877>.
- Nuzzo, J.L., Pinto, M.D., Nosaka, K., Steele, J. (2024). Maximal number of repetitions at percentages of the one repetition maximum: a meta-regression and moderator analysis of sex, age, training status, and exercise. *Sports Medicine*, 54(2), 303–321, <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01937-7>.
- Paulsen, G., Myrholt, R., Mentzoni, F., Solberg, P.A. (2025). Exercise type, training load, velocity loss threshold, and sets affect the relationship between lifting velocity and perceived repetitions in reserve in strength-trained individuals. *PeerJ*, 13, e19797, <https://doi.org/10.7717/peerj.19797>.
- Puppyn, N.F.T., Hofmeyr, S., Brughelli, M., Amdt, C.H. (2025). Validity and within-device reliability of the Metric application for assessing barbell velocity and displacement. *International Journal of Sports Science and Coaching*, <https://doi.org/10.1177/17479541251391967>.

- Renner, A., Mitter, B., Baca, A. (2024). Concurrent validity of novel smartphone-based apps monitoring barbell velocity in powerlifting exercises. *PLOS ONE*, 19(11), e0313919, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313919>.
- Ritti-Dias, R.M., Avelar, A., Salvador, E.P., Cyrino, E.S. (2011). Influence of previous experience on resistance training on reliability of one-repetition maximum test. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1418–1422, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d67c4b>.
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J.J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725–1734, <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J.G., Pérez, C.E., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J.J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(2), 80–88, <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>.
- Schroeder, E.T., Wang, Y., Castaneda-Sceppa, C., Cloutier, G., Vallejo, A.F., Kawakubo, M., Jensky, N.E., Coomber, S., Azen, S.P., Sattler, F.R. (2007). Reliability of maximal voluntary muscle strength and power testing in older men. *Journals of Gerontology. Series A*, 62(5), 543–549, doi: 10.1093/gerona/62.5.543.
- Stojanović, S., Rančić, D., Ilić, T., Aleksandrović, M., Đorđević, S., Hadžović, M., Jorgić, B. (2025). The effects of resistance training on health-related physical fitness of people with down syndrome – a systematic review and meta-analysis. *Disability and Rehabilitation*, 47(13), 3214–3223, <https://doi.org/10.1080/09638288.2024.2419421>.
- Trowell, D.A., Carruthers Collins, A.G., Hendy, A.M., Drinkwater, E.J., Kennelly-Dabrowski, C. (2024). Validation of a commercially available mobile application for velocity-based resistance training. *PeerJ*, 12, e17789, <https://doi.org/10.7717/peerj.17789>.
- Wang, Y., Qiu, J., Dai, D., Li, Q., Wang, X., Luo, Q. (2026). The effects of velocity-based vs. percentage-based resistance training on sports performance in trained individuals: a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Science Medicine and Rehabilitation*, 18(1), 57, <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01504-9>.
- Weakley, J., Mann, B., Banyard, H., McLaren, H.S., Scott, T., Garcia-Ramos, A. (2021). Velocity-based training: from theory to application. *Strength and Conditioning Journal*, 43(2), 31–49, <https://doi.org/10.1519/SSC.00000000000000560>.

ABSTRACT

Validation of a mobile application for monitoring velocity and velocity loss during the barbell back squat

Introduction. The study was designed to validate the Metric VBT mobile application, based on computer vision, and to compare its performance with the reference linear position transducer (Tendo Unit). Agreement was assessed for

measurements of mean concentric velocity (MV) and velocity loss (VL) during the barbell back squat. **Material.** The study included 17 physically active men. **Methods.** The protocol comprised MV measurements under progressively increasing loads (40%, 60%, and 80% 1RM), as well as evaluation of VL during a set of eight repetitions performed at 80% 1RM. The statistical analysis incorporated systematic bias, the intraclass correlation coefficient (ICC) and limits of agreement (LoA), which were illustrated using Bland–Altman plots. **Results.** Low-to-moderate agreement in MV measurements between devices was observed (ICC: 0.32–0.64) at increasing loads, with the application systematically underestimating velocity values. For VL, a complete lack of agreement with the reference method was observed (ICC = 0.09). **Conclusions.** The findings indicate that the Metric application demonstrates limited precision when compared directly with the reference device. Given the risk of substantial measurement error, this tool should not be employed to monitor VL in sets targeting muscle hypertrophy.

Keywords: resistance training, monitoring, velocity loss, barbell velocity

Adres do korespondencji
e-mail: milosztchorowski@gmail.com

II

REHABILITACJA

ADAM BRZÓSKA¹, LIDIA KACHNOWICZ²,
NORBERT SZYMAŃSKI¹, IWONA WILK^{1,2}

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Opolski

ZASTOSOWANIE MASAŻU TENSEGRACYJNEGO U MUZYKÓW AKTYWNYCH ZAWODOWO

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena skuteczności masażu tensegracyjnego zastosowanego u aktywnych zawodowo muzyków, którzy uskarżali się na uciążliwe objawy ze strony układu mięśniowo-szkieletowego. **Materiał.** Badaniami objęto 23 osoby (17 kobiet i 6 mężczyzn) grające zawodowo na instrumentach smyczkowych (70% na skrzypcach, 22% na altówce i 9% na wiolonczeli). Średni wiek badanych wynosił 46 lat ($\pm 9,22$), średni staż gry na instrumencie to 38 lat. **Metody.** Każdy uczestnik badań został poddany serii 4 zabiegów masażu tensegracyjnego wykonywanych raz w tygodniu przez 4 tygodnie. Pojedynczy zabieg trwał 45 min i obejmował opracowanie poszczególnych układów, ze szczególnym uwzględnieniem tkanek układu III dotyczącego odcinka szyjnego kręgosłupa, obręczy barkowej i kończyny górnej. Przed każdym zabiegiem badani przechodzili ocenę palpacyjną tkanek. Przed terapią i po jej zakończeniu oceniono natężenie bólu (skala VAS), wykonano też pomiar wrażliwości uciskowej wybranych tkanek. W celu scharakteryzowania grupy badanej zastosowano autorską ankietę. **Wyniki.** Odnotowano istotną statystycznie redukcję bólu mierzonego za pomocą skali VAS ($p = 0,0020$). Zaobserwowano istotne statystycznie zmniejszenie wrażliwości uciskowej (podwyższenie progu bólu) w obrębie kłykcia bocznego kości ramiennej i kąta górnego łopatki po stronie lewej. **Wnioski.** Masaż tensegracyjny jest skuteczną metodą w niwelowaniu dolegliwości bólowych wynikających ze wzmożonego napięcia spoczynkowego przeciążonych mięśni. Może być wykorzystywany w fizjoterapii u muzyków aktywnych zawodowo.

Słowa kluczowe: masaż tensegracyjny, muzyk, ból, wrażliwość uciskowa tkanek

WPROWADZENIE

Pozycja wyjściowa do gry na instrumencie wymagająca asymetrycznego ustawienia poszczególnych segmentów ciała to jeden z głównych powodów zmęczenia i przeciążenia tkanek miękkich, a nawet wad postawy u muzyków aktywnych zawodowo (Bieńko, 2025), co w połączeniu z powtarzalnością ruchów, wielogodzinną monotonną aktywnością i krótkim odpoczynkiem niewspółmiernym do czasu pracy obciąża nierównomiernie mięśnie i aparat więzadłowo-ścięgnisty narządu ruchu (Chan i Acker-

mann, 2014; Kaczorowska i wsp., 2021; Kornek i wsp., 2022; Panasiuk, 2021). Zmienna ilość snu, różny sposób odżywiania się i odmienne formy spędzania czasu wolnego z pominięciem systematycznej aktywności fizycznej również znacząco wpływają na układ ruchu muzyków. Ważną rolę odgrywają tu także czynniki wewnętrzne, takie jak siła, wytrzymałość i gibkość tkanek miękkich oraz napięcie spoczynkowe mięśni (Ackermann i Adams, 2004). Zaburzenia układu mięśniowo-szkieletowego są wynikiem interakcji ciała muzyka i instrumentu oraz sumy czynników modyfikowalnych i niepodlegających modyfikacji (Kaczorowska i wsp., 2021; Panasiuk, 2021), a długo trwające przeciążenia bez podejmowanych działań profilaktycznych i terapeutycznych wywołują dolegliwości bólowe, których intensywność wzrasta wraz z wydłużającym się czasem gry na instrumencie (Kaczorowska i wsp., 2021).

Wśród metod zapobiegania zaburzeniom układu ruchu wyróżnia się techniki Alexandra, terapię manualną (Janiszewski i Cieślík, 2004), terapię punktów spustowych (Davies, 2002), metody relaksacyjne, takie jak joga, tai chi, ćwiczenia rozciągające/stretching mięśni, metody osteopaty (Foxman i Burgel, 2006; Zalpour i wsp., 2021). U muzyków stosuje się także różnego rodzaju masaże: klasyczny, relaksacyjny, leczniczy, terapeutyczny (Cygańska, 2020; Wilk i wsp., 2016).

CEL BADAŃ

W pracy podjęto próbę oceny skuteczności masażu tensegracyjnego zastosowanego u muzyków aktywnych zawodowo w celu normalizacji podwyższonego napięcia spoczynkowego tkanek.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

Badaniami objęto 23 muzyków grających na instrumentach smyczkowych, w tym 17 kobiet (74%) i 6 mężczyzn (26%). Grupa badana składała się z 16 (70%) skrzypków, 5 (22%) altowiolistów i 2 (9%) wiolonczelistów. Średni wiek uczestników projektu wynosił 46 lat ($\pm 9,22$), a średnia wartość BMI (ang. *body mass index*) – 23,4, co oznaczało normę (Wu i wsp., 2024). Średni czas gry na instrumencie sięgał 38 lat. Najdłużej grało 2 muzyków w wieku 52 lat, a najkrócej 3 muzyków w wieku 22 lat (tab. 1).

Tabela 1. Charakterystyka badanej grupy

Zmienna	$\bar{x} \pm SD$	Mediana (min.–max)
Wiek (lata)	45,8 $\pm$ 9,22	43 (28–63)
Wzrost (cm)	171,6 $\pm$ 7,22	170 (160–187)
Masa ciała (kg)	69,4 $\pm$ 11,5	69 (48–89)
BMI (kg/m ²)	23,5 $\pm$ 3,81	23,4 (17,6–34,8)
Lata gry na instrumencie	37,8 $\pm$ 8,62	36 (22–53)

BMI – *body mass index*

Kryterium doboru badanej grupy było zatrudnienie w Filharmonii Opolskiej, gra na instrumencie smyczkowym (skrzypce, altówka, wiolonczela) oraz zgoda na udział w eksperymencie. Ograniczeniem nie był wiek, płeć, liczba lat gry na instrumencie.

Metody

Badania prowadzono od października 2025 do stycznia 2026 r. Realizowano je w salach Filharmonii Opolskiej przystosowanych do wykonania zabiegów i wyposażonych w niezbędny sprzęt do masażu. Przed przystąpieniem do terapii każdy badany podpisał zgodę na udział w projekcie. Uczestnicy zostali poddani czterem zabiegom masażu tensegracyjnego, które odbywały się raz w tygodniu. Pojedynczy masaż trwał 45 min. Masowano obie strony ciała badanego. Przed każdym zabiegiem fizjoterapeuta dokonywał oceny palpacyjnej tkanek według karty „Ocena stanu pacjenta dla potrzeb masażu tensegracyjnego” (Kassolik i Andrzejewski, 2022; Wilk i wsp., 2016). Przed pierwszym masażem i bezpośrednio po ostatnim zabiegu dokonywano za pomocą algometru pomiaru wrażliwości uciskowej wybranych tkanek mających przyczep na kącie górnym łopatki, wyrostku kruczym łopatki, guzku większym kości ramiennej, nadkłykcium bocznym kości ramiennej. Posługując się skalą VAS, oceniano też poziom dolegliwości bólowej.

W badaniach zastosowano autorską ankietę składającą się z 23 pytań zarówno zamkniętych, jak i otwartych. Pytania dotyczyły wieku, płci, stażu pracy, dolegliwości bólowych, przebytych chorób, dysfunkcji w obrębie narządu ruchu, form aktywności fizycznej oraz ogólnego samopoczucia.

Procedura zabiegu

Część wstępna masażu obejmowała ułożenie badanego w prawidłowej pozycji – leżenie na boku (ryc. 1) oraz opracowanie wybranych tkanek z układu I i II, na podstawie wyniku oceny palpacyjnej.



Rycina 1. Pozycja ułożeniowa

W części głównej opracowywano układ III masażu tensegracyjnego dotyczący mięśnia zębatego przedniego ze szczególnym uwzględnieniem tkanek zlokalizowanych w obrębie odcinka szyjnego kręgosłupa, obręczy barkowej i kończyny górnej. Opracowywano poszczególne podukłady tego układu. W części końcowej wykonywano głaskanie powierzchowne i głębokie obszaru ciała poddanego masażowi.

W pierwszym podukładzie obejmującym wyrostek kruczy łopatki opracowywano mięsień dwugłowy ramienia, mięsień kruczo-ramienny i mięsień piersiowy mniejszy. Kolejny podukład dotyczył kąta górnego łopatki. Masowano w nim po kolei powięź piersiowo-lędźwiową, mięsień równoległoboczny mniejszy, mięsień nadgrzebieniowy i mięsień dźwigacz łopatki. W dalszej kolejności opracowywano podukład guzka większego kości ramiennej. W tej części masowano mięsień równoległoboczny większy, mięsień nadgrzebieniowy i mięsień podgrzebieniowy oraz mięsień obły mniejszy. Masaż kończył się opracowywaniem tkanek przyczepiających się do nadkłykcia bocznego kości ramiennej. Były to mięśnie grupy bocznej i tylnej przedramienia, przegroda międzymięśniowa boczna ramienia, środkowa część mięśnia naramiennego oraz mięsień nadgrzebieniowy. Podczas zabiegu wykonywano głaskanie, rozcieranie i ugniatanie (Kassolik i Andrzejewski, 2022).

Analiza statystyczna

Obliczenia statystyczne przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Statistica w wersji 13.3, za pomocą którego wyliczono wartości średnie ($\bar{x}$), odchylenia standardowe (SD), medianę, wartość minimalną i maksymalną. W celu zbadania normalności rozkładu zastosowano test Shapiro–Wilka. W sytuacji braku zgodności danych z rozkładem normalnym posłużono się testem Wilcoxona. Do zbadania różnic w pozostałych przypadkach wykorzystano test t -Studenta. Za istotną statystycznie przyjęto wartość $p < 0,05$.

WYNIKI

Ankieta

Najczęściej zgłaszanym przez muzyków objawem zmian w obrębie układu ruchu był ból (85% odpowiedzi), następnie ograniczenie ruchomości w poszczególnych stawach (35%), osłabienie siły mięśniowej (25%) i uczucie przeciążenia tkanek (20%). Badani mieli możliwość wyboru wszystkich odczuwanych przez siebie objawów. Problemy neurologiczne, takie jak drętwienie i mrowienie, zgłosiło 20% respondentów. Wśród najczęściej wskazywanych obszarów, w których pojawiały się dolegliwości bólowe, znalazły się kończyny górne (20 osób), odcinek szyjny kręgosłupa i barki (po 16 osób), oraz odcinek lędźwiowy kręgosłupa (10 osób).

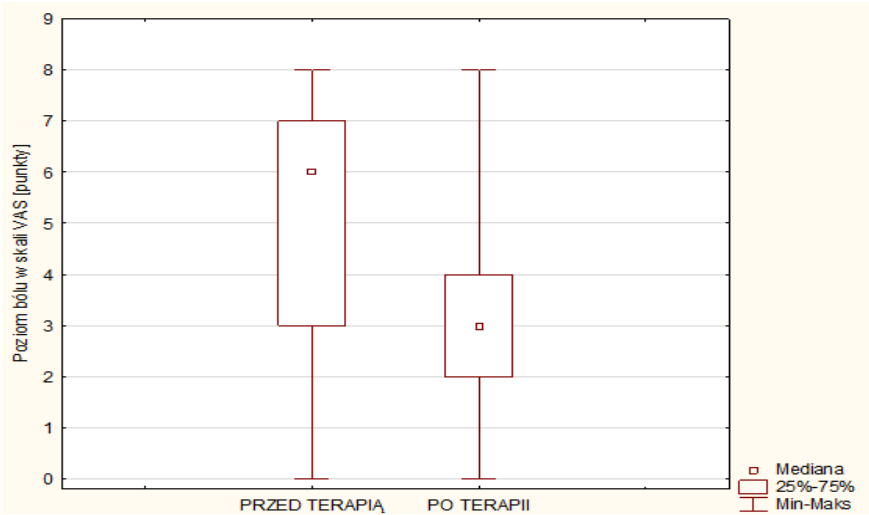
Skala VAS

Średnia wartość poziomu bólu ocenianego w skali VAS przed terapią wynosiła 5,1 pkt (najniższa 0 pkt, maksymalna 8 pkt). Po terapii średni wynik obniżył się do 2,9 pkt. Zaobserwowana redukcja odczuwanego bólu okazała się istotna statystycznie ($p = 0,002$) (tab. 2, ryc. 2).

Tabela 2. Poziom bólu w skali VAS przed terapią i po jej zakończeniu

Ból w skali VAS (pkt)	$\bar{x} \pm SD$	Me (min.–max)	p
Przed terapią	5,1 $\pm$ 2,28	6 (0–8)	0,002*
Po terapii	2,9 $\pm$ 1,55	3 (0–8)	

* test Wilcoxona, Me – mediana



Rycina 2. Zmiany poziomu bólu w skali VAS przed terapią i po jej zakończeniu

Wrażliwość uciskowa tkanek

Po zastosowaniu masażu odnotowano obniżenie się wrażliwości uciskowej w obrębie kłykcia boczного kości ramiennej i kąta górnego łopatki po lewej stronie. Zmiany były istotne statystycznie (tab. 3 i 4).

Nie wykazano istotnych statystycznie zmian w przypadku guzka większego kości ramiennej i wyrostka kruczego łopatki (tab. 5 i 6).

Tabela 3. Wrażliwość uciskowa tkanek na kłykciiu bocznym kości ramiennej badanych

Statystyka	Strona ciała	Kłykieć boczny kości ramiennej przed terapią (kg/cm³)	Kłykieć boczny kości ramiennej po terapii (kg/cm³)	p
$\bar{x} \pm SD$	prawa	3,31 ± 1,15	3,67 ± 1,18	0,048*
Me [Q1; Q3]		3,42 [2,46;3,90]	3,80 [2,84; 4,54]	
Min.–max		1,44–5,36	1,60–5,94	
$\bar{x} \pm SD$	lewa	3,34 ± 1,15	3,88 ± 1,26	0,013*

* test Wilcoxona, Me – mediana

Tabela 4. Wrażliwość uciskowa tkanek na kącie górnym łopatki badanych

Statystyka	Strona ciała	Kąt górny łopatki przed terapią (kg/cm ³)	Kąt górny łopatki po terapii (kg/cm ³)	<i>p</i>
$\bar{x} \pm SD$	prawa	3,82 ± 1,20	3,98 ± 1,51	0,40*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		3,80 [3,08; 4,46]	3,88 [2,90; 3,88]	
Min.–max		3,08–7,02	1,26–6,66	
$\bar{x} \pm SD$	lewa	2,00 ± 1,03	3,45 ± 1,32	0,001*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		2,1 [1,7; 2,9]	3,5 [2,5; 4,5]	
Min.–max		1,5–3,2	1,88–3,88	

* test Wilcoxona, *Me* – mediana

Tabela 5. Wrażliwość uciskowa tkanek na wyrostku kruczym łopatki badanych

Statystyka	Strona ciała	Wyrostek kruchy łopatki przed terapią (kg/cm ³)	Wyrostek kruchy łopatki po terapii (kg/cm ³)	<i>p</i>
$\bar{x} \pm SD$	prawa	3,15 ± 1,02	3,40 ± 1,13	0,57*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		2,74 [2,34; 3,77]	3,13 [2,70; 4,16]	
Min.–max		1,96–5,56	1,62–5,49	
$\bar{x} \pm SD$	lewa	3,56 ± 0,88)	3,56 ± 1,19)	0,16*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		3,62 [3,26; 4,08]	3,42 [2,76; 4,38]	
Min.–max		1,26–5,16	1,34–5,90	

* test Wilcoxona, *Me* – mediana

Tabela 6. Wrażliwość uciskowa tkanek na guzku większym kości ramiennej badanych

Statystyka	Strona ciała	Guzek większy kości ramiennej przed terapią (kg/cm ³)	Guzek większy kości ramiennej po terapii (kg/cm ³)	<i>t</i>
$\bar{x} \pm SD$	prawa	4,07 ± 1,31	4,16 ± 1,30	0,57*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		4,02 [3,28; 4,75]	4,24 [2,94; 5,02]	
Min.–max		1,76–7,02	1,98–6,67	
$\bar{x} \pm SD$	lewa	4,06 ± 1,08	4,28 ± 1,30	0,16*
<i>Me</i> [Q1; Q3]		4,16 [3,44; 4,60]	4,19 [3,32; 5,10]	
Min.–max		1,82–6,82	1,38–6,82	

* test Wilcoxona, *Me* – mediana

DYSKUSJA

Muzycy zawodowi są szczególnie narażeni na dysfunkcje w obrębie narządu ruchu. W przeprowadzonych badaniach dolegliwości bólowe tego układu okazały się najczęstszym objawem zgłaszanym przez respondentów. Na wysoki odsetek dolegliwości mięśniowo-szkieletowych w grupie muzyków wskazywali też Jacukowicz i Wężyk (2018), Panasiuk (2021) oraz Paarup (2011).

W badaniach własnych odnotowano, że problemy bólowe pojawiały się najczęściej w obrębie kręgosłupa szyjnego i obręczy barkowej oraz odcinka lędźwiowego. Do podobnych wniosków doszli Kornek i wsp. (2022), według których ból występujący u wiolonczelistów i skrzypków był częściej zlokalizowany w odcinku lędźwiowym i szyjnym kręgosłupa, a rzadziej w kończynach górnych i dolnych. Zalpour i wsp. (2021) wykazali, że objawy bólowe w grupie muzyków grających na instrumentach strunowych występowały najczęściej w okolicach kręgosłupa (58%), dość często w obrębie ręki (25%), a najrzadziej dotyczyły kończyn dolnych (8%).

Zaburzenia układu mięśniowo-szkieletowego, w tym ból, są dość powszechne wśród muzyków, zwłaszcza muzyków smyczkowych, co potwierdzają najnowsze doniesienia wskazujące na ścisły związek pomiędzy grą na skrzypcach a występowaniem wad postawy i dolegliwości bólowych (Bieńko, 2025; Małek, 2022). Rodzi się zatem duża potrzeba szerzenia wiedzy wśród muzyków na temat strategii zapobiegania urazom i przeciążeniom tkanek (Kaczorowska i wsp., 2021; Kornek i wsp., 2022; Laseur i wsp., 2023; Łoś, 2016). Niezwykle ważnym czynnikiem jest tu rodzaj instrumentu, na którym gra muzyk. Instrumenty smyczkowe częściej prowokują zmiany w górnej części ciała z dominacją po lewej stronie (Ackerman i Adams, 2004).

Porównanie wyników własnych z danymi innych autorów jest niezwykle trudne, a wręcz niemożliwe, ponieważ jak dotąd opublikowano niewiele doniesień na temat zastosowania masażu tensegracyjnego u muzyków. Poza tym opisywane próby wykorzystania masażu u osób z tej grupy zawodowej obejmują inną metodykę i techniki zabiegu, różny czas trwania pojedynczego zabiegu i całej terapii.

Niezbędna jest indywidualizacja działań fizjoterapeutycznych z uwzględnieniem rodzaju instrumentu, na jakim gra muzyk oraz ustawienia ciała, co stawowi podstawę pracy z muzykami.

Ważnym elementem skutecznej pracy z muzykami jest edukacja, która powinna dotyczyć zwiększania świadomości ciała, umiejętności przyjmowania pozycji odciążeniowych, ćwiczeń mięśni posturalnych i antago-

nistycznych względem tych dominujących podczas gry na instrumencie oraz uświadamianie konieczności wczesnej interwencji (bez ignorowania nawet niewielkich objawów) i kompleksowego podejścia do niwelowania objawów. Takie podejście znajduje potwierdzenie w badaniach Chan i Ackermann (2014) oraz Iglesias-Carrasco i wsp. (2024), które wskazują, że edukacja zdrowotna połączona z treningiem uzupełniającym (ang. *cross-training*) stanowi fundament skutecznego zarządzania zdrowiem muzyka.

W zapobieganiu objawom bólowym ze strony układu mięśniowo-szkieletowego powinna dominować przede wszystkim profilaktyka, która jest zawsze łatwiejsze niż leczenie.

Niezwykle istotna jest również autoterapia stosowana przez samych muzyków w formie automasażu przy użyciu rollerów czy gimnastyki indywidualnej. W celu uzyskania najlepszego efektu terapeutycznego niezbędna jest systematyczność, zaangażowanie i powtarzalność.

OGRANICZENIA

Ograniczeniem była mała liczba uczestników projektu, która istotnie wpłynęła na efekt terapeutyczny. W przyszłości liczebność badanych zostanie zwiększona. Innym ograniczeniem była mała częstotliwość zabiegów wynikająca z grafiku i dużego obciążenia muzyków próbami, koncertami oraz dodatkowymi występami, przede wszystkim w okresie świąteczno-noworocznym.

WNIOSKI

Masaż tensegracyjny jest skuteczną metodą w niwelowaniu dolegliwości bólowych powstałych w wyniku wzmożonego napięcia spoczynkowego przeciążonych mięśni. Może stanowić element fizjoterapii stosowanej u muzyków aktywnych zawodowo.

BIBLIOGRAFIA

- Ackermann, B.J., Adams, R.D. (2004). Perceptions of causes of performance-related injuries by music health experts and injured violinists. *Perceptual and Motor Skills*, 99(2), 669–678, doi: <https://doi.org/10.2466/pms.99.2.669-678>.
- Bieńko, E. (2025). *Ocena dolegliwości bólowych i wad postawy wśród młodych dorosłych grających na skrzypcach*. Praca magisterska. Kraków: UJ.
- Chan, C., Ackermann, B. (2014). Evidence-informed physical therapy management of performance-related musculoskeletal disorders in musicians. *Frontiers in Psychology*, 5, 706, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00706>.

- Cygańska, A., Truszczyńska-Baszak, A., Tomaszewski, P. (2020). Impact of exercises and chair massage on musculoskeletal pain of young musicians. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 5128, <https://doi.org/10.3390/ijerph17145128>.
- Davies, C. (2002). Musculoskeletal pain from repetitive strain in musicians: insights into an alternative approach. *Medical Problems of Performing Artists*, 17(1), 42–49, <https://doi.org/10.21091/mppa.2002.1007>.
- Foxman, I., Burgel, B.J. (2006). Musician health and safety preventing playing-related musculoskeletal disorders. *AAOHN Journal*, 54(7), 309–316, <https://doi.org/10.1177/216507990605400703>.
- Iglesias-Carrasco, C., de-la-Casa-Almeida, M., Suárez-Serrano, C., Benítez-Lugo, M.L., Medrano-Sánchez, E.M. (2024). Efficacy of therapeutic exercise in reducing pain in instrumental musicians: systematic review and meta-analysis. *Healthcare*, 12(13), 1340, <https://doi.org/10.3390/healthcare12131340>.
- Jacukowicz, A., Wężyk, A. (2018). Dolegliwości mięśniowo-szkieletowe, słuchowe i skórne związane z grą na instrumencie. *Medycyna Pracy*, 69(4), 383–394, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00688>.
- Janiszewski, M., Cieślík, A. (2004). Analiza skuteczności terapii manualnej wspomaganą fizjoterapią w przeciążeniach zawodowych muzyków. *Medycyna Pracy*, 55(2), 169–173.
- Kaczorowska, A., Mroczek, A., Lepsy, E., Kornek, M., Kaczorowska, A., Kaczorowska, M., Lepsy, K. (2021). Musculoskeletal pain in professional symphony orchestra musicians. *Medical Science Pulse*, 15(3), 38–43, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.0633>.
- Kassolik, K., Andrzejewski, W. (2022). *Masaż tensegracyjny*. Wrocław: MedPharm Polska.
- Kornek, M., Kaczorowska, A., Mroczek, A., Lepsy, E., Kaczorowska, A., Szwamel, K. (2022). Musculoskeletal pain in professional orchestra instrumentalists and its determinants: a Polish pilot study. *Pomeranian Journal of Life Sciences*, 68(4), 39–46, <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.828>.
- Laseur, D.J.G., Baas, D.C., Kok, L.M. (2023). The prevention of musculoskeletal complaints in instrumental musicians: a systematic review. *Medical Problems of Performing Artists*, 38(3), 172–188, <https://doi.org/10.21091/mppa.2023.3022>.
- Łoś, M. (2016). Dolegliwości zdrowotne muzyków zawodowych – świadomość i doświadczenia uczniów szkoły muzycznej. Sprawozdanie z badań. [W:] K. Borzucka-Sitkiewicz (red.), *Psychospołeczne i środowiskowe konteksty zdrowia i choroby* (ss. 179–191). Katowice: UŚ.
- Małek, M. (2022). *Występowanie dolegliwości bólowych u osób grających na skrzypcach*. Praca magisterska. Kraków: UJ.
- Paarup, H.M., Baelum, J., Holm, J.W., Manniche, C., Wedderkopp, N. (2011). Prevalence and consequences of musculoskeletal symptoms in symphony orchestra musicians vary by gender: a cross-sectional study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 12(1), 223.

- Panasiuk R. (2021). Assessment of the prevalence of musculoskeletal ailments among musicians. *Research, Physiotherapy Review*, 25(4), 74–79, <https://doi.org/10.5114/phr.2021.111812>.
- Wilk, I., Kurpas, D., Andrzejewski, W., Okręglika-Forysiak, E., Gworys, B., Kasolik, K. (2016). The application of tensegrity massage in a professionally active musician – case report. *Rehabilitation Nursing Journal*, 41(3), 179–192, <https://doi.org/10.1002/rnj.152>.
- Wu, Y., Li, D., Vermund, S.H. (2024). Advantages and limitations of the body mass index (BMI) to assess adult obesity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(6), 757, <https://doi.org/10.3390/ijerph21060757>.
- Zalpour, C., Ballenberger, N., Avermann, F. (2021). A physiotherapeutic approach to musicians' health – data from 614 patients from a Physiotherapy Clinic for Musicians (INAP/O). *Frontiers in Psychology*, 12, 568684, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.568684>.

ABSTRACT

Use of tensegrity massage in professional musicians

Introduction. The study was designed to evaluate the effectiveness of tensegrity massage in a group of professional musicians reporting significant musculoskeletal complaints. **Material.** The study group comprised 23 participants (17 women and 6 men), all professional string players from the Opole Philharmonic (70% violinists, 22% violists and 9% cellists). The participants' mean age was 46 years (± 9.22), with an average playing experience of 38 years. **Methods.** Each participant underwent a series of four tensegrity massage sessions, performed once weekly over a four-week period. Each session lasted 45 min and involved treatment of specific structural systems, with particular emphasis on the tissues associated with System III, encompassing the cervical spine, shoulder girdle and upper limb. A palpatory tissue assessment was performed prior to each treatment session. Pain intensity was assessed before and after the intervention using the Visual Analogue Scale (VAS), and the pressure sensitivity of selected tissues was also measured. A self-developed questionnaire was employed to describe the characteristics of the study sample. **Results.** Following the experiment, a statistically significant reduction in pain intensity, as measured by the VAS, was observed among the participants ($p = 0.0020$). A statistically significant decrease in pressure sensitivity (reflecting an increased pain threshold) was also observed at the lateral epicondyle of the humerus and the superior angle of the scapula on the left side. **Conclusions.** Tensegrity massage appears to be an effective intervention for alleviating pain related to increased resting muscle tension in overloaded muscles. It may be applied as a therapeutic approach in physiotherapy for professional musicians.

Keywords: tensegrity massage, musician, pain, tissue pressure sensitivity

WIKTORIA BUGAJNA¹, SZYMON TRZMIEL¹, JULIA BŁAŻNIAK¹,
MARTYNA CIOĆ¹, NADIA KOPER¹, MAGDALENA KURDEK²,
KAROLINA ROKITA^{3,4}, JAROSŁAW FUGIEL⁵, ANDRZEJ ROKITA⁶

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

³ Wydział Psychologii, Uniwersytet SWPS

⁴ Wydział Zarządzania, Politechnika Wrocławska

⁵ Katedra Biologicznych Podstaw Aktywności Fizycznej, Akademia
Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

⁶ Katedra Indywidualnych i Zespołowych Aktywności Fizycznych, Akademia
Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Studenckie Koło Naukowe Physically Active Learning (PAL)
Edukacja w Ruchu

SPRAWNOŚĆ RĘKI SENIORÓW Z DZIENNYCH DOMÓW POMOCY WE WROCŁAWIU

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było określenie poziomu sprawności motorycznej ręki u osób z domów pomocy (DDP) we Wrocławiu przed interwencją z piłkami edukacyjnymi mini-EDUball. Poszukiwano różnic w koordynacji ruchów i sile mięśni rąk w grupach wieku i płci. **Materiał.** Pełny zestaw pomiarów zebrano u 104 osób (60–98 lat), w tym u 82 kobiet i 22 mężczyzn. Badanych podzielono na grupy płci i wieku. Do grupy młodszej zaliczono osoby poniżej 75. roku życia ($n = 22$), a do grupy starszej osoby w wieku 75 lat i starsze ($n = 82$). Uczestnicy projektu mieli ograniczenia w samodzielnym codziennym funkcjonowaniu. **Metody.** Sprawność motoryczną ręki badano za pomocą testów MLS wchodzących w skład Wiedeńskiego Systemu Testów. Wykonano pięć prób: (1) celowanie, (2) precyzja ruchów, (3) drżenie (tremor), (4) śledzenie liniowe, (5) częstotliwość ruchów (tapping). W analizie statystycznej wykorzystano analizę wariancji z powtarzanymi pomiarami, dwuczynnikową analizę wariancji. Przyjęto poziom istotności statystycznej $p \leq 0,05$. **Wyniki.** Mężczyźni w obu grupach wieku uzyskali lepsze wyniki w teście siły ścisku ręki dominującej i niedominującej. Również młodszy seniorzy mieli większą siłę statyczną ręki od starszych seniorów. W koordynacji ruchów rąk istotne różnice odnotowano jedynie w teście oceniającym częstotliwość ruchów ręki. Mężczyźni wykonywali test szybciej niż kobiety, a młodszy seniorzy szybciej niż badani z grupy starszych seniorów. **Wnioski.** Siła mięśni ręki różniła się w zależności od płci i wieku badanych. W przypadku małej motoryki różnice płciowe oraz związane z wiekiem występują w zakresie częstotliwości ruchów ręki.

Słowa kluczowe: osoby starsze, mini-EDUball, Wiedeński System Testów, domy pomocy

WPROWADZENIE

Proces starzenia się jest naturalnym etapem rozwoju człowieka postępującym w trzech głównych obszarach: biologicznym, psychologicznym i społecznym (Dziendziura, 2024; Kanning i Schlicht 2008; San Martín i wsp., 2025). Jest on indywidualny dla każdej jednostki, a jego przebieg można różnicować na: zdrowy/pomyślny, zwyczajny lub patologiczny. Starzenie się niesie za sobą wieloaspektowe, postępujące zmiany inwolucyjne, które nie są tożsame ze zmianami chorobowymi, choć mogą być przez nie modyfikowane i nasilane (Fernández-Ballesteros i wsp., 2012; Lee i Kim, 2022).

Procesy inwolucyjne wpływają m.in. na pogorszenie funkcji mięśni zarówno w wyniku zmian ilościowych (atrofii, utraty włókien mięśniowych), jak i jakościowych (osłabienia funkcji białek, upośledzenie funkcji naprawczych i odporności mięśni na stres) (Larsson i wsp., 2019). Ich skutkiem jest pogorszenie jakości życia ze względu na pojawiające się utrudnienia w codziennych czynnościach ruchowych angażujących zarówno duże grupy mięśni pracujących w trakcie chodu, utrzymywania równowagi czy zmiany pozycji, jak również drobnych mięśni (mała motoryka) wykorzystywanych podczas wykonywania precyzyjnych czynności manualnych (Hoogendam i wsp., 2014; Larsson i wsp., 2019; Skrzek i wsp., 2015). Fauth i wsp. (2017) zauważają, że mimo iż czynności życia codziennego wymagają sprawności w zakresie i dużych, i małych grup mięśni, większość testów funkcjonalnych stosowanych w badaniach skupia się na motoryce dużej. Autorzy zwracają uwagę na związek między motoryką precyzyjną a szybkością percepcyjną, której pogorszenie sprawia, że ruchy stają się nie tylko wolniejsze, ale również mniej płynne. W innych badaniach wskazuje się na związek między pogorszeniem funkcji poznawczych a osłabieniem małej motoryki, przy czym zależność ta może mieć różny charakter i nasilenie w zależności od jednostki chorobowej (Roalf i wsp., 2018; Rohan i wsp., 2022; Tan i wsp., 2020). Nawet u osób, u których proces starzenia się przebiega w sposób zdrowy, obserwuje się istotne obniżenie wydajności małej motoryki w porównaniu z młodszymi dorosłymi (Sebastjan i wsp., 2017; Rudisch i wsp., 2020). W konsekwencji postępujące z wiekiem pogorszenie funkcji poznawczych odpowiedzialnych za rozumienie, planowanie i prawidłowe wykonanie czynności manualnych i lokomocyjnych, wraz ze zmianami inwolucyjnymi aparatu ruchu, ogranicza samodzielność w codziennym funkcjonowaniu (Barros i wsp., 2024;

Kazazi i wsp., 2018). W świetle zmian w strukturze wiekowej społeczeństwa problem ten staje się coraz bardziej istotny.

W Unii Europejskiej osoby w wieku 65 lat i więcej stanowiły na początku 2025 r. 22% populacji (Eurostat, 2026). W Polsce liczebność osób starszych wzrasta nieprzerwanie od roku 2006; pod koniec 2024 r. odsetek osób w wieku 60 lat i więcej sięgał 26,6% populacji, a prognoza demograficzna do 2060 r. wskazuje na stały wzrost ludności w tej grupie wiekowej (GUS, 2024). Tendencja ta jest obserwowana w całej Unii (Eurostat, 2026).

Współczesne trendy demograficzne oraz konsekwencje procesu starzenia się społeczeństw skłaniają do podejmowania różnych działań mających na celu zaspokojenie potrzeb osób starszych. Jedną z form wsparcia są dzienne domy pomocy (DDP) (Ziółkowski, 2017). Pierwsza tego typu placówka w Polsce powstała we Wrocławiu w 1977 r. przy ul. Kościuszki (MCUS, *Historia*). Prawo pobytu w DDP mają osoby, które ze względu na wiek czy stan zdrowia wymagają częściowej opieki i pomocy w codziennym funkcjonowaniu (MCUS, *O nas*). Dzielne domy pomocy zapewniają seniorom opiekę i różnorodne formy aktywności w zakresie wypoczynku, rekreacji i integracji społecznej. Mogą oni uczestniczyć także w terapii zajęciowej, m.in. arteterapii, muzykoterapii czy zabawach i ćwiczeniach ruchowych (Mazurek, 2020). Uzupełniającym elementem tych działań mogą być zajęcia z piłkami mini-EDUball, które wspomagają rozwój zarówno małej motoryki, jak i funkcji poznawczych, a także pozwalają na współpracę i pielęgnowanie relacji społecznych. Dotychczasowe badania dotyczące wykorzystania metody mini-EDUball potwierdzają, że w znaczny sposób angażuje ona zasoby poznawcze, nie powodując przy tym pogorszenia funkcji poznawczych czy motorycznych (Kruszwicka, 2023). Mimo że badania te prowadzone były w grupie studentów, a nie seniorów, zastosowanie metody wydaje się w pełni uzasadnione w tej grupie wiekowej, zwłaszcza w kontekście potrzeby integrowania treningu kognitywnego i ruchowego.

CEL BADAŃ

Celem badań było określenie poziomu sprawności motorycznej ręki osób korzystających z usług DDP we Wrocławiu przed wdrożeniem interwencji z zastosowaniem metody mini-EDUball. Poszukiwano także różnic między uczestnikami projektu pod względem ich płci i wieku.

MATERIAŁ I METODY

Badania sfinansowano z projektu pt. „Zmiany sprawności ręki i jej związki z funkcjami poznawczymi u seniorów z Dziennych Domów Pomocy uczestniczących w programie z wykorzystaniem mini-EDUballi realizowanego w ramach Regionalnej Inicjatywy Doskonałości AWF Wrocław”. Projekt uzyskał zgodę Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych AWF we Wrocławiu (nr 17/2025). W projekcie zaplanowano przeprowadzenie badań przed rozpoczęciem programu ćwiczeń z wykorzystaniem mini-EDUballi (pre-test) oraz po jego zakończeniu (post-test).

Badania przeprowadzono w dniach 09.01–31.01.2026 r. w 10 wrocławskich DDP. Osoby zajmujące się realizacją projektu, w tym studenci z SKN PAL Edukacja w Ruchu oraz opiekunowie koła, ukończyły przed rozpoczęciem badań szkolenie z zakresu obsługi Wiedeńskiego Systemu Testów (panel MLS), uzyskując certyfikat.

Osoby badane

Do projektu zgłosiło się 159 osób, a do badań przystąpiło 137. Pełny zestaw pomiarów uzyskano dla 104 osób (82 kobiet i 22 mężczyzn) w wieku 60–98 lat. Warunki były następujące: ukończony 60. rok życia, zgoda lekarza geriatry na udział w projekcie, brak schorzeń wykluczających z badań oraz rozumienie poleceń i zadań do wykonania. Przed rozpoczęciem badań wszyscy uczestnicy (lub ich opiekunowie) wyrazili pisemną zgodę na udział w nich.

Na potrzeby analizy badanych podzielono na dwie grupy: młodszych i starszych seniorów. Do grupy młodszych seniorów zaliczono osoby, których wiek mieścił się w przedziale 60–74,9 roku, a do grupy starszych seniorów osoby powyżej 75. roku życia. Podział ten jest zgodny z kryteriami identyfikacji ludzi starszych na podstawie wieku kalendarzowego zalecanymi przez Światową Organizację Zdrowia (WHO), zgodnie z którymi 75. rok życia stanowi granicę dla osób starszych („young old”) oraz osób w okresie średniej („middle old”) i późnej starości („old – old”, „oldest – old”) (za: Osiński, 2013). W grupie młodszej znalazło się 13 kobiet i 9 mężczyzn, a w grupie starszej 69 kobiet i 13 mężczyzn.

Ponieważ badania polegały na ocenie poziomu sprawności motorycznej ręki, siły ścisku ręki oraz funkcji poznawczych, istotnym etapem projektu było badanie przeprowadzone przez lekarza geriatrę, który kwalifikował

uczestników do udziału w programie. Na tej podstawie wyłączono z projektu osoby, u których stwierdzono duże ograniczenia ruchowe lub zaburzenia otępienne w stopniu średnim lub ciężkim.

Metody

Do zbadania małej motoryki wykorzystano baterię testów wchodzących w skład Wiedeńskiego Systemu Testów (Vienna Test System, VTS) moduł MLS (niem. *Motorische Leistungsserie*), wyposażonego w płytę roboczą model PMC1-080 2004 (Schuhfried GmbH, Austria). Do płyty roboczej podłączone były dwa pióra kontaktowe: w kolorze czarnym dla ręki prawej i czerwonym dla ręki lewej.

W skład testu MLS wchodziły następujące próby umożliwiające ocenę różnych parametrów:

- Celowanie – ocena szybkości i dokładności ruchów ręki. Badany miał za zadanie jak najszybciej dotknąć piórem 20 sensorów umieszczonych na płycie roboczej.
- Precyzja ruchów – ocena dokładności ruchów precyzyjnych. Badany miał za zadanie jak najszybciej włożyć przygotowane kołki do wyznaczonych otworów w płycie roboczej.
- Drżenie (tremor) – ocena drżenia ręki. Badany miał za zadanie utrzymać w bezruchu przez 32 s pióro w otworze o średnicy 5,8 mm, nie dotykając jego krawędzi.
- Śledzenie liniowe – ocena szybkości i dokładności ruchów ręki na trasie o zmiennym kształcie. Badany miał za zadanie przeprowadzić jak najszybciej pióro przez specjalnie wyżłobiony rowek, osiągając jak najmniejszą liczbę dotknięć jego krawędzi i dna.
- Częstotliwość ruchów (tapping) – ocena maksymalnej szybkości ręki. Badany miał za zadanie w czasie 32 s wykonać jak najwięcej uderzeń piórem o wyznaczone niewielkie pole na płycie roboczej.

Wszystkie próby z zakresu małej motoryki były realizowane najpierw prawą, a następnie lewą ręką. Czas wykonania testu jednej osoby mieścił się w przedziale 12–17 min.

Siłę ścisku ręki oceniano za pomocą dynamometru hydraulicznego Jamar. Pomiaru wykonano zarówno dla prawej, jak i lewej ręki. Badanych proszono o wskazanie swojej ręki dominującej. Cztery osoby zgłosiły, że jest to lewa ręka. W dalszej analizie porównywano rękę dominującą i nie-dominującą.

Analiza statystyczna

Analizy statystycznej dokonano przy użyciu programu Jamovi. Dla wszystkich zmiennych obliczono wartości średnie ($\bar{x}$) i odchylenia standardowe (SD). Dla grup płci i wieku przeprowadzono analizę z powtarzającymi pomiarami ANOVA dla każdej zmiennej wynikowej. Zbadano efekty główne płci i wieku oraz interakcje między nimi. Porównania post hoc wykonano przy użyciu korekt Bonferroniego w celu kontroli wskaźników błędu. Wielkość efektów podano przy użyciu częściowego eta kwadratowego (η^2_p) dla ANOVA. W przypadku testów t wielkość efektów obliczono za pomocą współczynnika Cohena d . Wszystkie testy statystyczne były dwustronne z poziomem alfa wynoszącym 0,05.

WYNIKI

W badanej grupie seniorów siła ścisku ręki różniła się w zależności od płci i wieku (tab. 1). Lepsze wyniki osiągnęli mężczyźni niż kobiety. W przypadku ręki dominującej w grupie młodszych seniorów wartości sięgały średnio $37,0 \text{ kg} \pm 9,9$ vs $18,9 \text{ kg} \pm 5,3$, a w grupie starszych seniorów $27,2 \text{ kg} \pm 8,6$ vs $17,1 \text{ kg} \pm 4,8$. W przypadku ręki niedominującej w grupie młodszych seniorów było to odpowiednio $34,6 \text{ kg} \pm 8,0$ vs $17,3 \text{ kg} \pm 4,1$, a w grupie starszych seniorów $25,9 \text{ kg} \pm 8,5$ vs $16,3 \text{ kg} \pm 4,6$. Różnice płciowe w grupach młodszych i starszych seniorów, zarówno dla ręki dominującej,

Tabela 1. Test siły ścisku ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	< 75	K	18,8	5,3	11	28
		M	37,0	9,9	25	52
	≥ 75	K	17,1	4,8	6	29
		M	27,2	8,6	14	41
Niedominująca	< 75	K	17,4	4,1	10	25
		M	34,6	8,0	27	48
	≥ 75	K	16,2	4,6	7	27
		M	25,9	8,5	10	39

K – kobiety, M – mężczyźni

jak i niedominującej, okazały się istotne statystycznie (tab. 2, 3). Istotne różnice zanotowano również między młodszymi i starszymi seniorami w grupie mężczyzn. U kobiet lepsze wyniki uzyskiwały młodsze senior-ki, jednak różnica ta nie była istotna statystycznie (tab. 2, 3).

Tabela 2. Istotność różnic wyników testu siły ścisku ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Dominująca	płeć	2868,4	79,84	< 0,001	0,400
	wiek	476,8	13,27	< 0,001	0,067
	płeć × wiek	228,8	6,37	0,013	0,032
Niedominująca	płeć	2579,3	84,76	< 0,001	0,418
	wiek	341,6	11,23	0,001	0,055
	płeć × wiek	201,0	6,61	0,012	0,033

Tabela 3. Testy post hoc dla wyników testu siły ścisku ręki w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	t	p _{tukey}	Cohen's d
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	-1,774	1,812	-0,979	0,762	-0,296
		M	> 75	-10,158	1,812	-5,605	< 0,001	-1,695
		M	< 75	-19,928	2,124	-9,381	< 0,001	-3,325
	< 75	M	> 75	-8,385	2,351	-3,566	0,003	1,399
		M	< 75	-18,154	2,599	-6,985	< 0,001	-3,029
M	> 75	M	< 75	-9,769	2,599	-3,759	0,002	-1,630
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	-1,138	1,668	-0,682	0,904	-0,206
		M	> 75	-9,677	1,668	-5,802	< 0,001	-1,754
		M	< 75	-18,309	1,955	-9,365	< 0,001	-3,319
	< 75	M	> 75	-8,538	2,164	-3,946	< 0,001	1,548
		M	< 75	-17,171	2,392	-7,178	< 0,001	-3,113
M	> 75	M	< 75	-8,632	2,392	-3,609	0,003	-1,565

K – kobiety, M – mężczyźni

W teście celowania badany miał za zadanie dotknąć po kolei 20 sensorów ułożonych w jednej linii. Zadanie należało wykonać jak najszybciej, starając się nie popełnić błędów. Za błąd uznawano dotknięcie płyty roboczej obok sensora. Analizie poddano czas wykonania testu oraz liczbę i czas trwania błędów. Wyniki uzyskane w grupach płci wskazują, że młodsi mężczyźni popełniali mniej błędów niż kobiety (tab. 4). W przypadku ręki dominującej w grupie młodszych seniorów było to 4,4 vs 7,7 błędu, a w grupie starszych seniorów 5,5 vs 5,4 błędu. W przypadku ręki niedominującej w grupie młodszych seniorów uzyskano wartości 5,1 vs 6,6 błędu, a w grupie starszych seniorów 6,4 vs 9,5 błędu. Młodsi seniorzy osiągnęli lepsze wyniki niż ich starsi koledzy. Różnice te jednak nie wykazywały istotności statystycznej zarówno w odniesieniu do grup wieku

Tabela 4. Liczba błędów w teście celowania w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	5,4	7,8	0	43
		M	5,5	3,0	1	13
	< 75	K	7,7	6,0	2	26
		M	4,4	3,9	1	12
Niedominująca	≥ 75	K	9,5	14,1	0	90
		M	6,4	4,6	1	13
	< 75	K	6,6	9,5	0	38
		M	5,1	5,0	0	14

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 5. Istotność różnic liczby błędów w teście celowania w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	36,4	0,77	0,383	0,007
	wiek	5,9	0,12	0,726	0,001
	płeć $\times$ wiek	44,1	0,93	0,337	0,009
Niedominująca	płeć	79,9	0,54	0,466	0,005
	wiek	65,8	0,44	0,508	0,004
	płeć $\times$ wiek	10,3	0,07	0,794	0,001

Tabela 6. Testy post hoc dla liczby błędów w teście celowania w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	<i>t</i>	<i>p</i> _{tukey}	Cohen's <i>d</i>
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	-2,351	1,963	-1,198	0,630	-0,342
		M	> 75	-0,156	2,083	-0,075	1,000	-0,023
		M	< 75	0,938	2,441	0,384	0,981	0,136
	< 75	M	> 75	2,195	2,608	0,842	0,834	-0,319
		M	< 75	3,289	2,901	1,134	0,670	0,478
M	> 75	M	< 75	1,094	2,984	0,367	0,983	0,159
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	2,937	3,487	0,842	0,834	0,241
		M	> 75	3,153	3,700	0,852	0,829	0,258
		M	< 75	4,426	4,334	1,021	0,737	0,363
	< 75	M	> 75	0,215	4,626	0,047	1,000	-0,018
		M	< 75	1,489	5,148	0,289	0,992	0,122
M	> 75	M	< 75	1,274	5,294	0,241	0,995	0,104

K – kobiety, M – mężczyźni

i płci, jak dla ręki dominującej i niedominującej (tab. 5, 6). Podobna zależność dotyczyła czasu trwania błędów w teście celowania, czyli czasu przylegania pióra do płyty roboczej przy błędnym trafianiu w sensor.

W zakresie szybkości realizowania testu polegającego na celowaniu mężczyźni również uzyskiwali lepsze wyniki niż kobiety, z wyjątkiem seniorów ze starszej grupy w teście wykonywanym ręką dominującą (tab. 7). W przypadku ręki dominującej młodszy seniorzy uzyskali czas 13,5 s, a młodsze seniorki 14,9 s. W grupie osób starszych było to odpowiednio 15,8 s vs 14,3 s. W przypadku ręki niedominującej młodszy badani osiągnęli czas 14,7 s (mężczyźni) vs 15,2 s (kobiety), a starsi odpowiednio 15,5 s i 16,2 s. Nie odnotowano istotnych statystycznie różnic zarówno w odniesieniu do grup wieku i płci, jak w przypadku ręki dominującej i niedominującej (tab. 8, 9).

Tabela 7. Czas wykonania testu celowania w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	14,3	5,7	7,3	36,1
		M	15,8	4,8	9,7	27,8
	< 75	K	14,9	5,3	8,6	28,5
		M	13,5	4,8	9,3	23,5
Niedominująca	≥ 75	K	16,2	8,1	8,9	46,3
		M	15,5	3,9	9,3	21,5
	< 75	K	15,2	4,0	8,3	21,8
		M	14,7	3,9	10,9	23,3

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 8. Istotność różnic czasu wykonania testu celowania w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	0,0	0,00	0,979	0,000
	wiek	11,3	0,38	0,539	0,004
	płeć $\times$ wiek	30,0	1,01	0,317	0,010
Niedominująca	płeć	4,8	0,10	0,755	0,001
	wiek	11,6	0,24	0,627	0,002
	płeć $\times$ wiek	0,1	0,00	0,967	0,000

W teście precyzji ruchów ręki badany miał za zadanie jak najszybciej przestawić 25 kołków znajdujących się w pojemniku ustawionym w odległości 30 cm od płyty roboczej do otworów ułożonych w linii wzdłuż blatu do testowania. Analizie poddano czas wykonania testu. Porównanie grup płci wskazuje, że w przypadku ręki dominującej mężczyźni uzyskiwali lepsze wyniki, czyli że wykonywali test szybciej niż kobiety (tab. 10). W grupie młodszych seniorów próba trwała średnio 62,6 s vs 67,5 s, a w grupie starszych 65,3 s vs 67,2 s. Młodszy seniorzy wykonywali test szybciej od osób z grupy starszej. U kobiet nie stwierdzono takiej różnicy. W przypadku ręki niedominującej w grupie młodszych seniorów mężczyźni i kobiety uzyskali zbliżone wyniki: 67,9 s vs 68,1 s, a w grupie starszych seniorów mężczyźni realizowali test wolniej – średnio 75,6 s vs 73,2 s.

Tabela 9. Testy post hoc dla czasu wykonania testu celowania w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	t	p_{tukey}	Cohen's d
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	-0,550	1,556	-0,353	0,985	-0,101
		M	> 75	-1,460	1,651	-0,884	0,813	-0,268
		M	< 75	0,836	1,934	0,432	0,973	0,153
	< 75	M	> 75	-0,910	2,067	-0,440	0,971	0,167
		M	< 75	1,385	2,300	0,602	0,931	0,254
M	> 75	M	< 75	2,295	2,365	0,971	0,776	0,421
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	0,959	1,993	0,481	0,963	0,137
		M	> 75	0,643	2,115	0,304	0,990	0,092
		M	< 75	1,450	2,478	0,585	0,936	0,208
	< 75	M	> 75	-0,316	2,644	-0,120	0,999	0,045
		M	< 75	0,491	2,942	0,167	0,998	0,070
M	> 75	M	< 75	0,807	3,026	0,267	0,993	0,116

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 10. Czas wykonania testu wstawiania kołków w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	67,2	25,9	42,7	221,6
		M	65,3	9,4	48,1	75,3
	< 75	K	67,5	17,6	42,5	105,1
		M	62,6	13,0	44,0	89,2
Niedominująca	≥ 75	K	73,2	23,7	43,9	151,6
		M	75,6	17,0	55,0	112,7
	< 75	K	68,1	14,4	44,4	94,7
		M	67,9	11,7	52,9	94,4

K – kobiety, M – mężczyźni

W analizie porównującej grupy wieku okazało się, że młodsi seniorzy osiągalni lepsze wyniki niż starsi, z wyjątkiem kobiet w teście wykonywanym ręką dominującą. Nie wykazywano istotności statystycznej uzyskanych różnic, zarówno dla grup wieku, jak i płci, a także dla ręki dominującej i niedominującej (tab. 11, 12).

Tabela 11. Istotność różnic wyników testu wstawiania kołków w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2
Dominująca	płeć	173,4	0,34	0,563	0,003
	wiek	20,6	0,04	0,842	0,000
	płeć × wiek	36,1	0,07	0,792	0,001
Niedominująca	płeć	17,4	0,04	0,844	0,000
	wiek	618,5	1,38	0,243	0,013
	płeć × wiek	26,4	0,06	0,809	0,001

Tabela 12. Testy post hoc dla wyników testu wstawiania kołków w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	<i>SE</i>	<i>t</i>	<i>p</i> _{tukey}	Cohen's <i>d</i>
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	-0,381	6,464	-0,059	1,000	-0,017
		M	> 75	1,857	6,860	0,271	0,993	0,082
		M	< 75	4,594	8,041	0,571	0,940	0,202
	< 75	M	> 75	2,238	8,598	0,260	0,994	-0,099
		M	< 75	4,975	9,567	0,520	0,954	0,219
M	> 75	M	< 75	2,737	9,839	0,278	0,922	0,121
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	5,118	6,036	0,848	0,831	0,242
		M	> 75	-2,416	6,406	-0,377	0,982	-0,114
		M	< 75	5,369	7,509	0,715	0,891	0,253
	< 75	M	> 75	-7,534	8,028	-0,938	0,784	0,356
		M	< 75	0,251	8,933	0,028	1,000	0,012
M	> 75	M	< 75	7,785	9,187	0,847	0,832	0,367

K – kobiety, M – mężczyźni

W teście drżenia ręki badana osoba miała za zadanie utrzymać pióro w otworze, starając się nie dotykać jego ścian. Analizie poddano liczbę błędów oraz czas ich trwania. Wyniki w grupach płci wskazują, że w przypadku młodszych seniorów mniej błędów popełniali mężczyźni (tab. 13). Dotyczyło to zarówno ręki dominującej, jak i niedominującej. W odniesieniu do ręki dominującej było to średnio 23,1 vs 24,2 błędu, a ręki niedominującej 20,2 vs 26,7 błędu. U starszych seniorów zanotowano odwrotną sytuację, kobiety popełniały mniej błędów niż mężczyźni. W przypadku ręki dominującej było to średnio 25,4 u kobiet vs 28,0 błędu u mężczyzn, a w przypadku ręki niedominującej odpowiednio 25,5 vs 35,5 błędu. Młodszy seniorzy byli lepsi od starszych, różnice nie wykazywały jednak

Tabela 13. Liczba błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	25,4	27,8	0	165
		M	28,0	31,7	0	112
	< 75	K	24,2	19,6	0	69
		M	23,1	14,0	3	43
Niedominująca	≥ 75	K	25,4	20,6	0	80
		M	35,5	33,4	1	115
	< 75	K	26,7	22,9	0	62
		M	20,2	14,6	2	43

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 14. Istotność różnic liczby błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	8,1	0,01	0,915	0,000
	wiek	139,3	0,20	0,657	0,002
	płeć $\times$ wiek	49,6	0,07	0,791	0,001
Niedominująca	płeć	45,5	0,09	0,764	0,001
	wiek	723,5	1,44	0,233	0,014
	płeć $\times$ wiek	1014,2	2,02	0,158	0,019

Tabela 15. Testy post hoc dla wyników liczby błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	<i>t</i>	<i>p</i> _{tukey}	Cohen's <i>d</i>
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	1,235	7,538	0,164	0,998	0,047
		M	> 75	-2,565	8,000	-0,321	0,989	-0,097
		M	< 75	2,324	9,378	0,248	0,995	0,088
	< 75	M	> 75	-3,800	10,027	-0,379	0,981	0,144
		M	< 75	1,089	11,157	0,098	1,000	0,041
M	> 75	M	< 75	4,889	11,474	0,426	0,974	0,185
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	-1,284	6,381	-0,201	0,997	-0,057
		M	> 75	-10,012	6,772	-1,479	0,454	-0,447
		M	< 75	5,227	7,938	0,659	0,912	0,233
	< 75	M	> 75	-8,728	8,487	-1,028	0,733	0,390
		M	< 75	6,511	9,443	0,689	0,901	0,291
M	> 75	M	< 75	15,239	9,712	1,569	0,401	0,680

K – kobiety, M – mężczyźni

istotności statystycznej, zarówno dla grup wieku, płci, jak i ręki dominującej i niedominującej (tab. 14, 15).

Analiza czasu trwania błędów (czasu przylegania pióra do ścian otworu) pozwoliła wskazać na lepsze wyniki mężczyzn niż kobiet (tab. 16). Posługując się ręką dominującą, młodszy seniorzy uzyskali średni czas 4,6 s, a młodsze seniorki 8,9 s. W grupie starszych seniorów było to średnio 5,4 s vs 8,4 s. W przypadku ręki niedominującej młodszy seniorzy potrzebowali na wykonanie zadania średnio 6,4 s, a młodsze seniorki 6,8 s. W grupie starszych seniorów było to odpowiednio 6,0 s vs 8,3 s. Młodszy seniorzy okazali się lepsi od starszych kolegów. Różnice nie wykazywały istotności statystycznej, zarówno dla grup wieku, jak i płci, a także ręki dominującej i niedominującej (tab. 17, 18).

W teście śledzenia liniowego badana osoba miała za zadanie jak najszybciej pokonać trasę o zmiennym kształcie. Pióro przez cały czas trwa-

Tabela 16. Czasu błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	8,4	9,0	0	31,5
		M	5,4	5,9	0	17,7
	< 75	K	8,9	9,3	0	30,5
		M	4,6	5,5	0,2	17,6
Niedominująca	≥ 75	K	8,3	8,8	0	30,4
		M	6,0	7,6	0	23,4
	< 75	K	6,8	8,6	0	29,3
		M	6,4	7,2	0,1	19,4

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 17. Istotność różnic czasu błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	200,0	2,76	0,100	0,026
	wiek	0,2	0,00	0,955	0,000
	płeć $\times$ wiek	6,2	0,09	0,771	0,001
Niedominująca	płeć	26,5	0,36	0,549	0,004
	wiek	4,2	0,06	0,811	0,001
	płeć $\times$ wiek	12,8	0,18	0,676	0,002

nia testu miało znajdować się w rowku i nie mogło dotykać jego brzegów. Analizie poddano czas wykonania testu, liczbę popełnionych błędów oraz czas ich trwania. Okazało się, że mężczyźni wykonywali test śledzenia liniowego ręką dominującą wolniej niż kobiety (tab. 19). Młodszy seniorzy potrzebowali na to średnio 24,5 s, a młodsze seniorki 23,7 s. W grupie starszych seniorów było to odpowiednio 27,4 s vs 21,8 s. W przypadku ręki niedominującej nie odnotowano takiej zależności. Młodszy seniorzy uzyskali zbliżone wyniki: mężczyźni średnio 23,4 s, a kobiety 23,8 s. W grupie starszych seniorów mężczyźni osiągnęli średni wynik 16,8 s, a kobiety 21,3 s. W teście śledzenia liniowego mężczyźni popełniali również więcej błędów niż kobiety. W przypadku ręki dominującej u młód-

Tabela 18. Testy post hoc dla wyników czasu błędów w teście drżenia ręki w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	<i>t</i>	<i>p</i> _{tukey}	Cohen's <i>d</i>
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	-0,519	2,426	-0,214	0,997	-0,061
		M	> 75	3,025	2,575	1,175	0,644	0,355
		M	< 75	3,794	3,018	1,257	0,592	0,446
	< 75	M	> 75	3,544	3,227	1,098	0,691	-0,416
		M	< 75	4,313	3,590	1,201	0,627	0,506
M	> 75	M	< 75	0,769	3,693	0,208	0,997	0,090
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	1,461	2,435	0,600	0,932	0,171
		M	> 75	2,264	2,585	0,876	0,817	0,265
		M	< 75	1,866	3,030	0,616	0,927	0,218
	< 75	M	> 75	0,803	3,239	0,248	0,995	-0,094
		M	< 75	0,405	3,604	0,112	0,999	0,047
M	> 75	M	< 75	-0,398	3,707	-0,107	1,000	-0,047

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 19. Czas testu śledzenia liniowego w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	21,8	12,7	6,8	80,1
		M	27,4	20,7	9,3	87,0
	< 75	K	23,7	14,0	10,6	59,8
		M	24,5	10,5	14,9	42,2
Niedominująca	≥ 75	K	21,3	11,6	7,1	67,3
		M	16,8	5,0	10,3	26,4
	< 75	K	23,8	12,2	10,1	47,6
		M	23,4	11,4	10,0	43,1

K – kobiety, M – mężczyźni

szych seniorów było to średnio 46,7 vs 32,6 błędu, a u starszych 44,5 vs 38,7 błędu. W przypadku ręki niedominującej w grupie młodszych seniorów było to średnio 44,4 vs 34,9 błędu, a w grupie starszych seniorów 40,2 vs 38,1 błędu. Analiza czasu trwania błędów pozwoliła ustalić, że choć mężczyźni popełniali w teście śledzenia liniowego więcej błędów niż kobiety, to błędy te trwały krócej. Dotyczyło to zarówno obu grup wieku, jak i ręki dominującej i niedominującej (tab. 20). W przypadku ręki dominującej średni czas trwania błędów w grupach młodszych osób wynosił 7,0 s u mężczyzn i 8,7 s u kobiet. W grupach starszych było to odpowiednio 8,1s vs 9,2 s. W przypadku ręki niedominującej średni czas trwania

Tabela 20. Czas trwania błędów w teście śledzenia liniowego w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	9,2	9,3	1,7	65,2
		M	8,1	4,5	2,6	18,6
	< 75	K	8,7	7,0	2,0	26,4
		M	7,0	3,4	3,9	13,1
Niedominująca	≥ 75	K	8,9	7,4	2,8	47,8
		M	6,3	2,6	3,2	11,0
	< 75	K	9,2	7,1	3,0	28,6
		M	5,8	2,8	2,7	11,6

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 21. Istotność różnic czasu testu śledzenia liniowego w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	29,0	0,43	0,514	0,004
	wiek	8,8	0,13	0,719	0,001
	płeć $\times$ wiek	1,5	0,02	0,883	0,000
Niedominująca	płeć	134,2	2,98	0,087	0,029
	wiek	0,2	0,00	0,949	0,000
	płeć $\times$ wiek	2,8	0,06	0,804	0,001

Tabela 22. Testy post hoc dla wyników czasu trwania błędów w teście śledzenia liniowego w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	<i>t</i>	<i>p</i> _{tukey}	Cohen's <i>d</i>
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	0,455	2,342	0,194	0,997	0,055
		M	> 75	1,083	2,486	0,436	0,972	0,132
		M	< 75	2,167	2,914	0,774	0,879	0,264
	< 75	M	> 75	0,628	3,115	0,202	0,997	-0,076
		M	< 75	1,712	3,467	0,494	0,960	0,208
M	> 75	M	< 75	1,084	3,565	0,304	0,990	0,132
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	-0,321	1,913	-0,168	0,998	-0,048
		M	> 75	2,574	2,030	1,268	0,586	0,384
		M	< 75	3,119	2,379	1,311	0,558	0,465
	< 75	M	> 75	2,894	2,542	1,139	0,667	-0,432
		M	< 75	3,440	2,828	1,216	0,618	0,513
M	> 75	M	< 75	0,545	2,908	0,188	0,998	0,081

K – kobiety, M – mężczyźni

błędów w grupach młodszych sięgał 5,8 s u mężczyzn i 9,2 s u kobiet. W grupach starszych było to odpowiednio 6,3 s vs 8,9 s. W teście śledzenia liniowego młodszy seniorzy uzyskiwali lepsze wyniki niż ich starsi koledzy. Różnice nie wykazywały jednak istotności statystycznej, zarówno dla grup wieku, jak i płci. Dotyczyło to też obu rąk: dominującej i niedominującej (tab. 21, 22).

W teście oceniającym częstotliwość ruchów ręki badany miał za zadanie uderzać z jak największą szybkością piórem w kwadrat umieszczony na blacie roboczym. Analizie poddano liczbę uderzeń w sensor. Wykazano, że mężczyźni osiągalni lepsze wyniki testu niż kobiety. Zależność tę stwierdzono w grupach młodszych i starszych seniorów, zarówno dla ręki dominującej, jak i niedominującej (tab. 23). W przypadku ręki dominującej średnia liczba uderzeń w grupach młodszych seniorów wynosiła 177,4 u mężczyzn i 148,7 u kobiet. W grupach starszych było to odpowiednio

Tabela 23. Częstotliwość ruchów ręki w teście tapping w grupach wieku i płci

Ręka	Wiek (lata)	Płeć	$\bar{x}$	SD	Min.	Max
Dominująca	≥ 75	K	160,2	27,8	81	210
		M	162,2	27,7	101	219
	< 75	K	148,7	31,7	77	196
		M	177,4	35,5	123	224
Niedominująca	≥ 75	K	142,8	26,7	56	198
		M	148,5	18,9	113	182
	< 75	K	127,2	27,7	88	174
		M	161,0	29,7	126	222

K – kobiety, M – mężczyźni

Tabela 24. Istotność różnic wyników testu tapping w grupach wieku i płci

Ręka	Zmienna	Efekt główny	F	p	η^2
Dominująca	płeć	3511,0	4,17	0,044	0,038
	wiek	52,8	0,06	0,803	0,001
	płeć $\times$ wiek	2670,6	3,17	0,078	0,029
Niedominująca	płeć	5812,4	8,40	0,005	0,073
	wiek	36,2	0,05	0,820	0,000
	płeć $\times$ wiek	2921,6	4,23	0,042	0,037

162,2 vs 160,2. W przypadku ręki niedominującej średnia liczba uderzeń w grupach młodszych wynosiła 161,0 u mężczyzn i 127,2 u kobiet, a w grupach starszych odpowiednio 148,5 vs 142,8. W teście stukania młodszy seniorzy uzyskiwali lepsze wyniki od mężczyzn ze starszej grupy.

Zanotowane w grupie młodszych seniorów różnice płciowe okazały się istotne statystycznie w odniesieniu do ręki dominującej i niedominującej. Istotne były również interakcje wieku i płci dla ręki niedominującej (tab. 24, 25).

Tabela 25. Testy post hoc dla wyników testu tapping w grupach wieku i płci

Płeć	Wiek (lata)	Płeć	Wiek (lata)	Efekt główny	SE	T	p_{tukey}	Cohen's d
Ręka dominująca								
K	> 75	K	< 75	11,522	8,271	1,393	0,507	0,397
		M	> 75	-1,965	8,778	-0,224	0,996	-0,068
		M	< 75	-17,256	10,289	-1,677	0,341	-0,594
	< 75	M	> 75	-13,487	11,001	-1,226	0,612	0,465
		M	< 75	-28,778	12,241	-2,351	0,093	-0,991
M	> 75	M	< 75	-15,291	12,589	-1,215	0,619	-0,527
Ręka niedominująca								
K	> 75	K	< 75	15,583	7,492	2,080	0,167	0,593
		M	> 75	-5,756	7,951	-0,724	0,887	-0,219
		M	< 75	-18,217	9,320	-1,955	0,212	-0,693
	< 75	M	> 75	-21,338	9,965	-2,141	0,147	0,811
		M	< 75	-33,800	11,088	-3,048	0,015	-1,285
M	> 75	M	< 75	-12,462	11,403	-1,093	0,695	-0,474

K – kobiety, M – mężczyźni

DYSKUSJA

Badana populacja seniorów charakteryzowała się dużym zróżnicowaniem międzypersonalnym. Dotyczyło to zarówno wieku, jak i poziomu sprawności funkcjonalnej oraz schorzeń. Wynika to z modelu funkcjonowania dziennych domów pomocy, do których trafiają osoby z ograniczeniami w samodzielnym funkcjonowaniu. Deficyty zdrowotne mogą dotyczyć niepełnosprawności w zakresie samoobsługi, mobilności, ale również zaburzeń funkcji poznawczych. Wszystkie te okoliczności mogły wpływać na ocenę poziomu sprawności motorycznej badanych seniorów.

Przeprowadzenie pre-testu miało na celu określenie stanu sprawności w zakresie małej motoryki u osób, które rozpoczną interwencję z wykorzystaniem piłek edukacyjnych mini-EDUball. Po trzech miesiącach badania zostaną powtórzone, a wyniki pre- i post-testu porównane w celu

określenia różnic w poziomie sprawności ręki. We wcześniejszych badaniach wskazywano na ścisłe powiązania między małą motoryką a ośrodkami nerwowymi odpowiedzialnymi za funkcje poznawcze (Fugiel i wsp., 2025; Rohan i wsp., 2022). Jednocześnie zmiany funkcjonalne w układzie nerwowym są wymieniane jako jeden z głównych czynników determinujących spadek sprawności ruchowej (Berchicci i wsp., 2012; Cai i wsp., 2014). Wykazano również, że zaburzenia funkcji rąk mogą wskazywać na postępujące choroby ośrodkowego układu nerwowego (Berchicci i wsp., 2012; Raz i wsp., 2005).

Korzyści z podejmowania przez osoby starsze aktywności fizycznej są jednoznaczne i nie słabną z wiekiem (Ignasiak i wsp., 2016). Kruszwicka (2023) potwierdziła również pozytywne efekty łączenia ruchu z działaniem ośrodków odpowiedzialnych za funkcje poznawcze. Przykładem ćwiczeń łączących ruch z działaniem ośrodków odpowiedzialnych za funkcje poznawcze są piłki edukacyjne EDUball (Rokita, 2025). Badania z EDUballami były prowadzone głównie w szkołach, wśród dzieci. Miniaturyzacja piłek umożliwiła zastosowanie tej metody także u osób starszych (Kruszwicka, 2023; Rokita i wsp., 2024, 2026). Zajęcia można prowadzić w każdych warunkach, także w mniejszych pomieszczeniach, i z osobami, które mają problemy z lokomocją. Zastosowanie mini-EDUballi w zajęciach z seniorami należy do pionierskich pomysłów. Podobny projekt przeprowadzono w 2025 r. wśród osób, które ukończyły 60. rok życia i uczestniczyły w lekcjach języka angielskiego. Wyniki badań wskazują, że osoby uczące się języka obcego za pomocą piłek mini-EDUball uzyskują w czasie zajęć lepsze rezultaty niż osoby uczące się w sposób tradycyjny (Baranowska i wsp., 2026).

Badania przeprowadzone u osób z DDP pozwoliły wykazać powszechnie znane prawidłowości w zakresie siły mięśni ręki i przedramienia. Wyniki uzyskane przez mężczyzn w teście siły ścisku ręki okazały się istotnie wyższe niż u kobiet, a osoby młodsze (poniżej 75. roku życia) charakteryzowały się większą siłą statyczną niż osoby starsze. Jest to zgodne z danymi uzyskanymi przez innych autorów, którzy objęli badaniami populację zdrowych seniorów (Wearing i wsp. 2018), ale także osoby z deficytami zdrowotnymi (Fugiel i wsp., 2005). Wyniki ogólnopolskich badań realizowanych przez zespół pod kierunkiem Ignasiak i wsp. (2020) potwierdzają obniżanie się sprawności funkcjonalnej u osób starszych w kolejnych dekadach życia oraz występowanie różnic płciowych w tym zakresie. Mężczyźni osiągalni lepsze wyniki niż kobiety w większości testów (z wyjąt-

kiem gibkości), a różnice międzypłciowe wyraźnie się zmniejszały w najstarszych grupach wieku.

W badaniach własnych w przypadku zdolności koordynacyjnych istotne różnice płciowe odnotowano jedynie w teście oceniającym częstotliwość ruchów ręki (test stukania). To zadanie wykonywali szybciej mężczyźni, a także osoby młodsze. W testach oceniających precyzję ruchów, dokładność i szybkość ruchów oraz drżenie ręki (testy celowania, śledzenia linowego, wstawiania kołków i tremor) nie stwierdzono istotnych różnic wynikających z wieku i płci badanych osób.

Analiz, w których oceniano koordynację ruchów ręki z wykorzystaniem testów MLS u seniorów, jest stosunkowo niewiele. Badania osób zdrowych przeprowadzili m.in. Skrzek i wsp. (2015) oraz Sebastjan i wsp. (2017), ale zastosowano w nich mniejszy zestaw testów. Pewien problem związany z porównywaniem wyników stanowi także odmienny podział grup wiekowych. W badaniach Sebastjan i wsp. (2017) seniorów przydzielono do grupy osób między 60. a 70. rokiem życia oraz osób powyżej 70. roku życia. Mimo wskazanych różnic okazało się, że osoby zdrowe uzyskują wyraźnie lepsze średnie wyniki od osób korzystających z dziennych domów pomocy. Inne spostrzeżenia poczynili Rohan i wsp. (2022), badając osoby z zaburzeniami otępiennymi. Autorzy wskazują na zbliżone wartości uzyskiwane przez pacjentów z ośrodka leczenia chorób otępiennych i osoby z badanych dziennych domów pomocy we Wrocławiu.

Należy zaznaczyć, że są to pierwsze badania prowadzone w DDP, w których będą wykorzystywane piłki edukacyjne mini-EDUball. Zaletą badań jest zastosowanie wystandaryzowanych, rzetelnych i sprawdzonych metod badawczych – baterii testów MLS z Wiedeńskiego Systemu Testów. Projekt jest realizowany w grupie osób, u których zdiagnozowano ograniczenia samodzielności, a uzyskane wyniki mogą być bardzo pomocne dla opiekunów osób starszych, umożliwiając jednocześnie opracowanie innowacyjnego programu ćwiczeń dla seniorów. Wyniki mogą także posłużyć do opracowania skutecznych programów profilaktycznych i edukacyjnych. Mogą mieć też znaczenie kliniczne.

WNIOSKI

Poziom sprawności motorycznej rąk osób objętych opieką dziennych domów pomocy okazał się zbliżony w grupach kobiet i mężczyzn oraz w grupach młodszych i starszych seniorów. Uzyskiwane przez nich wyniki

były gorsze w porównaniu z wynikami osób w okresie starości, ale funkcjonujących samodzielnie i bez większych deficytów zdrowotnych.

W zakresie koordynacji ruchów różnice dotyczyły jedynie częstotliwości ruchów. Mężczyźni wykonywali test szybciej niż kobiety, a młodszy seniorzy szybciej niż starsi. W testach bardziej złożonych, wymagających dokładności i szybkości ruchów, a także w próbach oceniających drżenie ręki, nie stwierdzono różnic w badanych grupach.

W przypadku siły statycznej ręki odnotowano większe wartości u mężczyzn i u osób z młodszej grupy seniorów.

BIBLIOGRAFIA

- Baranowska, K., Dylewski, R., Fugiel, J., Klichowski, M., Rościszewska, A., Rokita, A. (2026). Active aging: learning English and developing fine psychomotor abilities. *Experimental Aging Research*, <https://doi.org/10.1080/0361073X.2026.2635284>.
- Barros, D., Borges-Machado, F., Silva-Fernandes, A., Ribeiro, O., Carvalho, J. (2024). Do physical fitness and cognitive function mediate the relationship between basic activities of daily living and quality of life in older adults with dementia? *Quality of Life Research*, 33(4), 917–926, <https://doi.org/10.1007/s11136-023-03570-3>.
- Berchicci, M., Lucci, G., Pesce, C., Spinelli, D., Di Russo, F. (2012). Prefrontal hyperactivity in older people during motor planning. *Neuroimage*, 62(3), 1750–1760, <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.06.031>.
- Cai, L., Chan, J.S., Yan, J.H., Peng, K. (2014). Brain plasticity and motor practice in cognitive aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 31, <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00031>.
- Dziendziura, M. (2024). Starość jako etap życia i jego potrzeby. *Studia Edukacyjne*, 75, 177–193, <https://doi.org/10.14746/se.2024.75.11>.
- Eurostat, (2026). *Population structure and ageing*. Pobrano 07.02.2026 z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Population_structure_and_ageing
- Fauth, E.B., Schaefer, S.Y., Zarit, S.H., Ernsth-Bravell, M., Johansson, B. (2017). Associations between fine motor performance in activities of daily living and cognitive ability in a nondemented sample of older adults: implications for geriatric physical rehabilitation. *Journal of Aging and Health*, 29(7), 1144–1159, <https://doi.org/10.1177/0898264316654674>.
- Fernández-Ballesteros, R., Botella, J., Zamarrón, M.D., Molina, M.A. Cabras, E., Schettini, R., Tárraga, L. (2012). Cognitive plasticity in normal and pathological aging. *Clinical Interventions in Aging*, 7, 15–25, <https://doi.org/10.2147/CIA.S27008>.
- Fugiel, J., Czyż, S.H., Rohan-Fugiel, A., Lindner-Pawłowicz, K., Winkel, I., Sobieszkańska, M. (2025). Motor function tests as early indicators of cog-

- nitive and functional decline in older adults: a correlational study. *PLOS ONE*, 20(12), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0338646>.
- GUS, Główny Urząd Statystyczny (2024). *Sytuacja osób starszych w Polsce w 2024 r.* Warszawa.
- Hoogendam, Y.Y., van der Lijn, F., Vernooij, M.W., Hofman, A., Niessen, W.J., van der Lugt, A., Ikram, M.A., van der Geest, J.N. (2014). Older age relates to worsening of fine motor skills: a population-based study of middle-aged and elderly persons. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 259, <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00259>.
- Ignasiak, Z., Falkenberg, J., Ignasiak, T., Kozieł, S. (2016). The influence of a 7-month-long intensive aquatic exercise program on changes in physical fitness, exercise program on changes in physical fitness, bone density and lung function parameters in bone density and lung function parameters in postmenopausal women. *Collegium Antropologicum*, 40(4), 261–268.
- Ignasiak, Z., Sebastjan, A., Sławińska, T., Skrzek, A., Czarny, W., Król, P., Rzepko, M., Duda-Biernacka, B., Marchewka, A., Filar-Mierzwa, K., Nowacka-Dobosz, S., Dobosz, J., Umiastowska, D. (2020). Functional fitness normative values for elderly polish population. *BMC Geriatrics*, 20, 384, <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01787-2>.
- Kanning, M., Schlicht, W. (2008). A bio-psycho-social model of successful aging as shown through the variable “physical activity”. *European Review of Aging and Physical Activity*, 5(2), 79–87, <https://doi.org/10.1007/s11556-008-0035-4>.
- Kazazi, L., Foroughan, M., Nejati, V., Shati, M. (2018). Association between age associated cognitive decline and health related quality of life among Iranian older individuals. *Electronic Physician*, 10(4), 6663–6671, <https://doi.org/10.19082/6663>.
- Kruszwicka, A. (2023). *Miniaturyzacja piłek edukacyjnych Eduball: studium pedagogiczne z zastosowaniem technik neuronauki poznawczej*. Praca doktorska. Poznań: UAM.
- Larsson, L., Degens, H., Li, M., Salviati, L., Lee, Y.I., Thompson, W., Kirkland, J.L., Sandri, M. (2019). Sarcopenia: aging-related loss of muscle mass and function. *Physiological Review*, 99, 427–511, <https://doi.org/10.1152/physrev.00061.2017>.
- Lee, J., Kim, H.-J. (2022). Normal aging induces changes in the brain and neurodegeneration progress: review of the structural, biochemical, metabolic, cellular, and molecular changes. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 14, 931536, <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.931536>.
- Mazurek, J., Szcześniak, D., Trypka, E., Lion, K.M., Wallner, R., Rymaszewska, J. (2020). Needs of older people attending day care centres in Poland. *Healthcare*, 8(3), 310, <https://doi.org/10.3390/healthcare8030310>.
- Miejskie Centrum Usług Socjalnych we Wrocławiu (b.d.). *Historia*. Pobrano 07.02.2026 z: <https://www.mcus.pl/o-nas/historia.html>
- Miejskie Centrum Usług Socjalnych we Wrocławiu (b.d.). *O nas*. Pobrano 07.02.2026 z: <https://www.mcus.pl/o-nas/misja.html>

- Osiński, W. (2013). *Gerokinezylogia. Nauka i praktyka aktywności fizycznej w wieku starszym*. PZWL, Warszawa.
- Raz, N., Lindenberger, U., Rodrigue, K. M., Kennedy, K.M., Head, D., Williamson, A., Acker, J.D. (2005). Regional brain changes in aging healthy adults: General trends, individual differences and modifiers. *Cerebral Cortex*, 15(11), 1676–1689. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi044>.
- Roalf, D.R., Rupert, P., Mechanic-Hamilton, D., Brennan, L., Duda, J.E., Weintraub, D., Trojanowski, J.Q., Wolk, D., Moberg, P.J. (2018). Quantitative assessment of finger tapping characteristics in mild cognitive impairment, Alzheimer's disease, and Parkinson's disease. *Journal of Neurology*, 265(6), 1365–1375, <https://doi.org/10.1007/s00415-018-8841-8>.
- Rohan, A., Fugiel, J., Winkel, I., Lindner, K., Kołodziej, M., Sobieszkańska, M. (2022). Differences in the level of functional fitness and precise hand movements of people with and without cognitive disorders. *Experimental Aging Research*, 48(4), 351–361, <https://doi.org/10.1080/0361073X.2021.1982350>.
- Rokita, A. (2025). The importance of physical activity in the holistic development of children in early school and preschool education. *Edukacja Elementarna w Teorii i Praktyce*, 20, 3(78), 137–155.
- Rokita, A., Cichy, I., Klichowski, M., Rościszewska, A., Przybyła, T., Wawrzyniak, S., Bronikowski, M. (2024). *From Eduball to Mini-Eduball and Brainball: innovative learning tools integrating cognition with gross and fine motor skills*. Wrocław: AWF.
- Rokita, A., Mouratidou, K., Magnanini, A., Prystupa, E., Olechowska, A., Rościszewska, A., Żytko, M., Wawrzyniak, S. (2026). *Learning by Moving. Innovative and interdisciplinary teaching methods in preschool and primary education*. Wrocław: AWF.
- Rudisch, J., Müller, K., Kutz, D.F., Brich, L., Sleimen-Malkoun, R., Voelcker-Rehage, C. (2020). How age, cognitive function and gender affect bimanual force control. *Frontiers in Physiology*, 11, 245, <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00245>.
- San Martín, C., Rojas, C., Sandoval, Y., Vicente, B. (2025). Biopsychosocial perspectives on healthy brain aging: a narrative review. *Journal of Ageing and Longevity*, 5(4), 44, <https://doi.org/10.3390/jal5040044>.
- Sebastjan, A., Skrzek, A., Ignasiak, Z., Sławińska, T. (2017). Age-related changes in hand dominance and functional asymmetry in older adults. *PLOS ONE*, 12(5), e0177845, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177845>.
- Skrzek, A., Přidalová, M., Sebastjan, A., Harásková, D., Fugiel, J., Ignasiak, Z., Sławińska, T., Rozek, K. (2015). Fine motor skills of the hands in Polish and Czech female senior citizens from different backgrounds. *Aging Clinical and Experimental Research*, 27(4), 491–498, <https://doi.org/10.1007/s40520-014-0299-7>.
- Tan, S., Hong, C.T., Chen, J.H., Chan, L., Chi, W.C., Yen, C.F., Liao, H.F., Liou, T.H., Wu, D. (2020). Hand fine motor skill disability correlates with cognition in patients with moderate-to-advanced Parkinson's disease. *Brain Sciences*, 10(6), 337, <https://doi.org/10.3390/brainsci10060337>.

- Wearing, J., Konings, P., Stokes, M., de Bruin, E.D. (2018). Handgrip strength in old and oldest old Swiss adults – a cross-sectional study. *BMC Geriatrics*, 18, 266, <https://doi.org/10.1186/s12877-018-0959-0>.
- Ziółkowski, W. (2017). *Szkice z pedagogiki senioralnej*. Bydgoszcz: WSG.

ABSTRACT

Manual dexterity among older adults in day care centres in Wrocław

Introduction. The study was designed to determine the level of hand motor performance in individuals attending Day Care Centres in Wrocław prior to an intervention involving mini-EDUball educational balls. Differences in movement coordination and hand muscle strength across age and sex groups were investigated. **Material.** The study was conducted in ten day care centres (DCC) in Wrocław. Prior to enrolment in the study, all participants underwent a medical examination by a geriatrician. A total of 137 individuals (out of 366 persons registered at the DCCs) volunteered for the project. A complete set of measurements was obtained from 104 individuals (aged 60–98 years), including 82 women and 22 men. The participants were divided into groups according to sex and age. The younger group comprised individuals under 75 years of age ($n = 22$), while the older group included those aged 75 years and older ($n = 82$). All participants in the project had limitations in their ability to function independently in everyday life. **Methods.** Hand motor performance was assessed using the MLS test battery included in the Vienna Test System. A total of five tests were administered: (1) aiming, (2) movement precision, (3) tremor, (4) line tracking, (5) tapping. The examination was performed individually, in a separate room, following a detailed explanation of the task. The statistical analysis employed repeated-measures analysis of variance and two-way analysis of variance. The level of statistical significance was set at $p \leq 0.05$. **Results.** Men in both age groups achieved higher scores in the handgrip strength test for both the dominant and non-dominant hand. Similarly, younger seniors exhibited higher static hand strength compared with older seniors. Significant differences in hand movement coordination were observed solely in the test of movement frequency. Men completed the test faster than women, while younger seniors outperformed those in the older group in terms of speed. **Conclusions.** Hand muscle strength varied according to participants' sex and age. In terms of fine motor skills, sex- and age-related differences were observed in hand movement frequency.

Keywords: older adults, mini-EDUballs, Vienna Test System, day care centres

Adres do korespondencji
e-mail: wiktoriabugajna@interia.pl

ALEKSANDRA GRUDZIŃSKA, JERZY PIECHURA,
KRYSTYNA ROŻEK-PIECHURA, PAULINA OKRZYMOWSKA

Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

JAKOŚĆ ŻYCIA A SPRAWNOŚĆ FIZYCZNA SŁUCHACZY UNIwersYTETU TRZECIEGO WIEKU W KONTEKŚCIE AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena występowania zależności między jakością życia a poziomem sprawności fizycznej słuchaczek Uniwersytetu Trzeciego Wieku (UTW) w Rawiczu, w kontekście podejmowanej przez nich aktywności fizycznej. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 30 słuchaczek UTW w Rawiczu (wiek $66,0 \pm 5,0$ roku, wysokość ciała $164 \pm 0,06$ cm, masa ciała $70,45 \pm 10,77$ kg). Badane podzielono na dwie grupy. Grupę 1 stanowiły kobiety o wyższym poziomie sprawności fizycznej, które w teście Fullerton uzyskały tylko jeden wynik poniżej normy. Kobiety z grupy 2 charakteryzowały się niższą sprawnością – mogły mieć dwa lub więcej wyników poniżej normy. **Metody.** Przeprowadzono Fullerton Functional Fitness Test (FFFT) oraz kwestionariusze WHOQOL-BREF i IPAQ. Istotne różnice wykazano za pomocą testu *U* Manna-Whitneya. Do stwierdzenia związków między ocenianymi parametrami wykorzystano analizę korelacji rang Spearmana ($p < 0,05$). **Wyniki.** Badane dobrze oceniły jakość swojego życia. Odnotowano istotne różnice między grupami w testach „wstań i idź” oraz „zginanie przedramienia”. Wyniki domeny środowiskowej okazały się istotnie wyższe w grupie 1. Zaobserwowano 18 par silnych bądź umiarkowanych korelacji między wiekiem a próbami FFFT, jak również między FFFT a domenami jakości życia i poziomem aktywności. Ocena jakości życia oraz samoocena stanu zdrowia, a także domena środowiskowa jakości życia korelowały istotnie z całkowitym poziomem aktywności fizycznej wyrażonym w MET-min/tydz. (IPAQ) ($p < 0,05$). **Wnioski.** Wyższa sprawność funkcjonalna badanych kobiet wiązała się z wyższym poziomem ich aktywności fizycznej oraz krótszym czasem spędzanym w pozycji siedzącej. Kobiety sprawniejsze funkcjonalnie uzyskiwały lepsze wyniki w ocenie jakości życia, zwłaszcza w domenie środowiskowej. Większa aktywność fizyczna i lepsza sprawność funkcjonalna sprzyjają wyższej samoocenie zdrowia i dobrostanu kobiet w wieku starszym.

Słowa kluczowe: jakość życia, starzenie się, sprawność fizyczna

WPROWADZENIE

W 2025 r. obchodzono 50-lecie uniwersytetów trzeciego wieku (UTW) w Polsce. Jubileusz ten dał szczególny kontekst analizom dotyczącym roli sprawności fizycznej w kształtowaniu jakości życia osób starszych. Dzia-

łalność UTW od pięciu dekad wpisuje się w nurt promocji aktywności ruchowej, zdrowego stylu życia oraz szeroko pojętej aktywizacji dzięki umożliwieniu seniorom uczestnictwa w różnych formach zajęć (GUS, 2025). Można założyć, że za jakieś 20 lat UTW w Polsce przeżyją drugi renesans, bowiem wtedy obecni 40–44-latkowie, czyli dziś najliczniejsza grupa obywateli, będą w wieku okołoemerytalnym (*Piramidy populacji świata...*).

Światowa Organizacja Zdrowia zdefiniowała jakość życia (ang. *quality of life*) jako postrzeganie przez jednostkę swojej pozycji w życiu w kontekście kultury, jej systemów wartości, w odniesieniu do swoich celów, oczekiwań, standardów i obaw. Na tę koncepcję w złożony sposób wpływa zdrowie fizyczne, stan psychiczny, poziom niezależności, relacje społeczne, osobiste przekonania i nastawienie jednostki do istotnych cech jej otoczenia. Przedstawiona definicja jest wielowymiarowa. Obejmuje indywidualną percepcję wybranych aspektów życia, a opisywane obszary nazywa domenami postrzeganymi w zależności od wieku i kultury (The WHO-QOL Group, 1995).

W okresie późnej dorosłości sprawność fizyczna, stanowiąca podstawę zdrowia fizycznego i niezależności funkcjonalnej jako istotnych domen jakości życia osób starszych, pozostaje w ścisłym związku z poziomem aktywności fizycznej (Miri i wsp., 2024). Jej regularne podejmowanie sprzyja zachowaniu autonomii funkcjonalnej seniorów oraz zmniejsza ryzyko upadków, towarzyszących im złamań, długotrwałego unieruchomienia, a w konsekwencji także zgonu (Syed-Abdul, 2021). Dodatkowo aktywność fizyczna, w tym trening oporowy, może poprawiać równowagę, wspierać utrzymanie gęstości kości, witalności, zmniejszać ryzyko wielu przewlekłych schorzeń, w tym chorób serca, zapalnych i zwyrodnieniowych chorób stawów, cukrzycy typu 2 oraz osteoporozy, a także przynosić korzyści w zakresie funkcji poznawczych i zdrowia psychicznego (Fragala i wsp., 2019). Nie wszystkie osoby w wieku starszym zdają sobie jednak sprawę z potrzeby podejmowania aktywności fizycznej i jej pozytywnych skutków. Wynika to z braku nawyków aktywnego spędzania czasu wolnego oraz często zbyt wysokich kosztów uczestnictwa w zorganizowanych zajęciach (Zielińska-Więczkowska i Kędziora-Kornatowska, 2009).

Analiza piśmiennictwa dotyczącego sprawności fizycznej osób starszych wskazuje, że większość prac badawczych prowadzono w dużych aglomeracjach miejskich (Grzanka-Tykwińska i wsp., 2015; Zdrodowska i wsp., 2012). Z tego względu podjęto próbę sprawdzenia, czy podobne badania realizowane w mniejszym mieście pozwolą uzyskać porównywalne wyniki.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena zależności między jakością życia a poziomem sprawności fizycznej słuchaczek Uniwersytetu Trzeciego Wieku w Rawiczu w kontekście podejmowanej przez nie aktywności fizycznej.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

Badaniami objęto 30 kobiet w wieku 60–75 lat, słuchaczek UTW w Rawiczu. Badane uczestniczyły w zajęciach rehabilitacyjnych, rekreacyjnych, jogi, nordic walking oraz aqua aerobiku, a także w zajęciach edukacyjnych z historii regionu, malarstwa, komputerowych i nauki języka obcego. Wszystkie respondentki wyraziły zgodę na udział w projekcie. Zostały także poinformowane o celu badań oraz o możliwości zrezygnowania z udziału w nich w każdej chwili.

Seniorki zostały podzielone na dwie 15-osobowe grupy. Grupę 1 stanowiły osoby o wyższej sprawności fizycznej, grupę 2 tworzyły badane o mniejszej sprawności. Podziału dokonano, odnosząc wyniki testu sprawności fizycznej do norm amerykańskich (Jones i Rikli, 2002). W grupie 1 znalazły się kobiety, które uzyskały tylko jeden wynik poniżej normy, natomiast do grupy 2 zakwalifikowano osoby, które uzyskały dwa lub więcej wyników poniżej normy.

Szczegółową charakterystykę badanych przedstawiono w tabeli 1. Badane grupy nie różniły się pod względem wieku oraz wskaźników antropometrycznych.

Tabela 1. Charakterystyka antropometryczna badanych

Parametr	Grupa 1 (<i>n</i> = 15) $\bar{x} \pm SD$	Grupa 2 (<i>n</i> = 15) $\bar{x} \pm SD$	Ogółem (<i>n</i> = 30) $\bar{x} \pm SD$	<i>p</i>
Wiek (lata)	67,0 ± 5,6	65,0 ± 4,4	66,0 ± 5,0	0,4475
Masa ciała (kg)	68,4 ± 9,8	72,5 ± 11,8	70,45 ± 10,8	0,4952
Wysokość ciała (m)	1,634 ± 0,1	1,649 ± 0,1	1,6415 ± 0,1	0,7039
BMI (kg/m ²)	25,58 ± 3,1	26,67 ± 4,0	26,125 ± 3,6	0,6229

BMI – *body mass index*, * istotność statystyczna $p < 0,05$

Metody

U wszystkich badanych przeprowadzono test sprawności funkcjonalnej, kwestionariusz WHOQOL-BREF oraz skróconą wersję kwestionariusza IPAQ (ang. International Physical Activity Questionnaire).

Sprawność fizyczna została oceniona na podstawie Senior Fitness Test (testu Fullerton, Fullerton Functional Fitness Test, FFFT) składającego się z następujących prób: „wstawanie z krzesła w ciągu 30 sekund” (ang. *30-second chair stand*), „zginanie przedramienia” (ang. *arm curl test*), „siad i dosięgnięcie” (ang. *chair sit-and-reach*), „drapanie po plecach” (ang. *back scratch*), „wstań i idź” (ang. *8-foot up-and-go*) oraz „6-minutowy marsz” (ang. *6-minute walk*) (Jones i Rikli, 2002).

Wyniki wszystkich prób przeprowadzonych w badaniu zostały porównane z amerykańskimi normami testu opracowanymi przez Jones i Rikli (2002). W przypadku prób „siad i dosięgnięcie” oraz „drapanie po plecach” wyniki podano w calach (inch), które przeliczono na centymetry (1 inch = 2,54 cm). W próbie „6-minutowy marsz” wyniki zapisano w jardach, które zostały przeliczone na metry (1 jard = 0,91 m). Po przeliczeniu jednostek wyniki odniesiono do odpowiednich norm zgodnie z przedziałem wiekowym (Jones i Rikli, 2002).

Do analizy jakości życia badanych wykorzystano kwestionariusz WHOQOL-BREF zawierający 26 pytań analizujących cztery domeny życia: fizyczną, psychologiczną, społeczną i środowiskową. Badany określa stan swojego zdrowia i obecne problemy zdrowotne w skali od 1 do 5. Osobno ocenia też poziom zadowolenia z jakości swojego życia i zdrowia. Większa liczba punktów oznacza lepszą jakość życia. Kwestionariusz WHOQOL jest standaryzowany na warunki polskie (Cieślik i Podbielska, 2015).

Kolejnym etapem badań była ocena poziomu aktywności siostry w ostatnich 7 dniach. Posłużyła temu skrócona wersja kwestionariusza IPAQ (*short version*). Respondentki miały określić aktywność intensywną wywołującą u nich wzmożony oddech i przyspieszenie akcji serca (np. aerobik, szybka jazda na rowerze) oraz aktywność umiarkowaną, którą rozpoznawały na podstawie lekko wzmożonej wentylacji płuc i nieco przyspieszonego tętna (np. noszenie przez co najmniej 10 min lżejszych ciężarów). Kolejne pytania dotyczyły chodzenia oraz czasu spędzonego w pozycji siedzącej. Badane miały określić, ile godzin dziennie wykonywały daną aktywność oraz przez ile dni wykonywały daną czynność w ciągu ostatniego tygodnia (Biernat i wsp., 2007).

Odpowiednie wyniki podstawiono do wzoru dla aktywności intensywnej: $MET = 8,0 \times \text{liczba dni} \times \text{czas trwania wysiłku w danym dniu w minutach (int_IPAQ)}$, aktywności umiarkowanej: $MET = 4,0 \times \text{liczba dni} \times \text{czas trwania wysiłku (umiar_IPAQ)}$, chodu: $MET = 3,3 \times \text{liczba dni} \times \text{czas trwania (chodzi_IPAQ)}$, siedzenia: $\text{ile godz. siedzi} \times 60 + \text{ile min siedzi (siedz_IPAQ)}$. IPAQ MET: $8 \times \text{int_IPAQ} + 4 \times \text{umiar_IPAQ} + 3,3 \times \text{chodzi_IPAQ} + 7 \times 1,1 \times \text{siedz_IPAQ} + 1,0 \times \text{reszta_spocz_min}$. Suma aktywności fizycznej z kwestionariusza IPAQ została wyrażona w MET-min/tydz. vs czas siedzenia (ang. *time sitting*, TS): $IPAQ_MET_vTS = 8 \times \text{int_IPAQ} + 4 \times \text{umiar_IPAQ} + 3,3 \times \text{chodzi_IPAQ}$ (Krzepota i wsp., 2013; Ogonowska-Słodownik, 2013). Uzyskane w ten sposób dane pozwoliły zakwalifikować respondentki do odpowiedniego poziomu aktywności fizycznej: niskiej, średniej (co najmniej 600 MET-min/tydz.), wysokiej (co najmniej 3000 MET-min/tydz.), z zachowaniem kryteriów określających daną aktywność (Biernat, 2013).

Analiza statystyczna

Zebrany materiał został poddany analizie statystycznej za pomocą programu Statistica wersja V12.0. Przeprowadzono testy normalności rozkładu zmiennej losowej. Do wykazania istotności różnic użyto testu *t*-Studenta dla cech o rozkładzie normalnym i testu *U* Manna-Whitneya dla parametrów o rozkładzie różnym od normalnego. Do oceny związków między parametrami przeprowadzono analizę korelacji rang Spearmana. Za istotne uznano wartości $p < 0,05$.

WYNIKI

Analizę wyników rozpoczęto od oceny sprawności funkcjonalnej badanych kobiet. Osoby z grupy 1 charakteryzowały się istotnie wyższymi wartościami w próbach wstawania z krzesła i zginania przedramienia (tab. 2).

Na podstawie wyników oceny aktywności fizycznej badanych dokonanej za pomocą kwestionariusza IPAQ *short version* zanotowano istotnie wyższe składowe aktywności fizycznej: wartości MET-min/tydz. dla chodzenia, MET-min/tydz. oraz suma aktywności fizycznej MET-min/tydz. vs TS w grupie 1 (tab. 3).

W tabeli 4 przedstawiono ocenę jakości życia słuchaczek. Kobiety z grupy 1 uzyskały istotnie wyższą wartość jakości życia w domenie środowiskowej.

Tabela 2. Sprawność funkcjonalna badanych (test *U* Manna–Whitneya)

Zmienna	Grupa 1				Grupa 2				<i>p</i>
	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q ₁	Q ₃	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q ₁	Q ₃	
Wstawanie z krzesła (liczba powtórzeń)	14,00 ± 2,79	15,00	12,00	16,00	10,50 ± 2,37	10,00	9,00	13,00	0,0149*
Zginanie przedramienia (liczba powtórzeń)	16,10 ± 3,03	15,50	14,00	17,00	13,50 ± 2,37	12,50	12,00	15,00	0,0320*
Siad i dosięgnięcie (cm)	1,25 ± 1,91	1,50	0,50	2,50	1,55 ± 3,29	1,25	–0,50	4,50	0,9395
Drapanie po plecach (cm)	0,40 ± 3,28	1,00	–2,00	1,50	–0,70 ± 3,47	–0,25	–3,50	1,50	0,6480
Wstań i idź (s)	6,42 ± 1,07	6,60	5,40	7,20	6,54 ± 2,02	6,25	5,30	6,90	0,7335
6-minutowy marsz (m)	579,80 ± 85,46	602,50	510,00	620,00	537,5 ± 184,04	620,00	341,00	685,00	0,8500

* różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$)Tabela 3. Aktywność fizyczna badanych (test *U* Manna–Whitneya)

Zmienna	Grupa 1				Grupa 2				<i>p</i>
	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q ₁	Q ₃	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q ₁	Q ₃	
int_IPAQ (MET-min/tydz.)	184,50 ± 214,86	150,00	0,00	240,00	282,00 ± 361,63	120,00	0,00	420,00	0,4787
umiar_IPAQ (MET-min/tydz.)	649,50 ± 922,52	195,00	30,00	1170,00	484,50 ± 399,69	480,00	90,00	810,00	0,4163
chodzi_IPAQ (MET-min/tydz.)	2539,50 ± 1245,57	2520,00	1470,00	3570,00	528,00 ± 505,04	420,00	165,00	735,00	0,0000*
siedz_IPAQ (min/dzień)	183,00 ± 88,09	180,00	120,00	180,00	217,50 ± 107,01	240,00	150,00	270,00	0,1330
IPAQ_MET (MET-min/tydz.)	19288,95 ± 4024,92	18606,00	16869,00	21735,00	15041,65 ± 3832,75	14892,00	12324,00	16558,50	0,0055*
IPAQ_MET_v TS (MET-min/tydz. vs min/dzień)	12454,35 ± 5538,31	11371,50	9108,00	16080,00	5936,40 ± 4410,82	5425,50	2754,00	8236,50	0,0007*

* różnice istotne statystycznie $p < 0,05$

Tabela 4. Jakość życia badanych (test *U* Manna–Whitneya)

Zmienna	Grupa 1				Grupa 2				<i>p</i>
	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q_1	Q_3	$\bar{x} \pm SD$	Me	Q_1	Q_3	
Jak zadowolona jesteś z jakości Twojego życia?	3,80 ± 0,63	4,00	3,00	4,00	3,70 ± 0,48	4,00	3,00	4,00	0,7863
Jak zadowolona jesteś ze swojego zdrowia?	3,50 ± 0,53	3,50	3,00	4,00	3,60 ± 0,70	4,00	3,00	4,00	0,5393
Domena fizyczna	28,70 ± 7,80	31,00	19,00	31,00	26,20 ± 6,20	31,00	19,00	31,00	0,5107
Domena psychologiczna	32,60 ± 9,81	25,00	25,00	44,00	27,50 ± 6,10	25,00	25,00	25,00	0,2783
Domena społeczna	91,30 ± 8,38	100,00	94,00	100,00	94,40 ± 10,40	100,00	94,00	100,00	0,9627
Domena środowiskowa	20,20 ± 5,51	22,00	13,00	25,00	16,00 ± 5,10	13,00	13,00	19,00	0,0472*
Suma jakości życia	88,80 ± 9,94	90,00	80,00	93,00	83,70 ± 5,42	81,00	80,00	87,00	0,3062

* różnice istotne statystycznie ($p < 0,05$)

Kolejnym etapem analizy była ocena zależności między poziomem aktywności i sprawności fizycznej a jakością życia ankietowanych. Analiza korelacji rang Spearmana (tab. 5) pozwoliła wykazać istotne statystycznie korelacje pomiędzy wiekiem badanych a wynikami testu „wstań i idź” ($p < 0,05$). Ponadto zaobserwowano ujemną korelację wieku senierek z próbą „drapanie po plecach” oraz 6-minutowego marszu. Wykazano istotne statystycznie korelacje między jakością życia a wybranymi wskaźnikami aktywności fizycznej i sprawności funkcjonalnej. Ogólna ocena jakości życia (pyt. 1) oraz samoocena stanu zdrowia (pyt. 2), a także domena środowiskowa jakości życia korelowały istotnie z całkowitym poziomem aktywności fizycznej wyrażonym w MET-min/tydz. (IPAQ) ($p < 0,05$). Stwierdzono także istotną korelację między domeną społeczną jakości życia a wynikami próby „wstań i idź” oraz między domeną środowiskową jakości życia a wynikami próby polegającej na zginaniu przedramienia ($p < 0,05$).

Tabela 5. Korelacja wszystkich badanych parametrów

Zmienna	Bez podziału na grupy Korelacja porządku rang Spearmana BD usuwane parami						
	wstawanie z krzesła	zginanie przedramienia	siad i dosięgnięcie	drapanie po plecach	wstań i idź	6-minutowy marsz	IPAQ_MET
Wiek	-0,21	-0,12	-0,34	-0,57*	0,47*	-0,48*	-0,23
Masa ciała	0,00	0,10	0,00	0,12	-0,0	0,0	-0,33
Wysokość ciała	0,01	0,32	-0,05	0,14	0,23	0,02	0,30
BMI	-0,01	0,03	-0,02	0,03	-0,12	0,02	-0,32
Wstawanie z krzesła	1,00	0,5*	0,3	0,4*	-0,3	0,0	0,57*
Zginanie przedramienia	0,5*	1,00	0,02	0,4*	0,0	-0,1	0,49*
Siad i dosięgnięcie	0,33	0,02	1,00	0,7*	-0,5*	0,0	0,51*
Drapanie po plecach	0,4*	0,4*	0,7*	1,00	-0,5*	0,1	0,13
Wstań i idź	-0,3	0,0	-0,5*	-0,5*	1,0	-0,32	-0,48*
6-minutowy marsz	0,02	-0,18	0,04	0,10	-0,35	1,00	0,69*
Jak zadowolona jesteś z jakości Twojego życia?	-0,12	0,04	-0,04	-0,10	-0,1	0,14	0,5*
Jak zadowolona jesteś ze swojego zdrowia?	-0,2	-0,06	-0,04	-0,04	-0,10	-0,03	0,53*
Domena fizyczna	0,04	-0,01	0,23	0,1	-0,23	-0,13	0,25
Domena psychologiczna	-0,16	0,04	-0,14	-0,2	0,2	-0,22	0,37
Domena społeczna	-0,13	-0,0	0,31	0,34	-0,5*	0,21	0,38
Domena środowiskowa	0,01	0,48*	-0,03	-0,03	0,13	-0,21	0,49*

BMI – *body mass index** współczynnik korelacji istotny z $p < 0,05$

Oceniając wskaźnik masy ciała (BMI), zwrócono uwagę, że 40% kobiet zakwalifikowanych do grupy 1 i 20% z grupy 2 miało nadwagę, a odpowiednio 10% i 20% otyłość. Badane z grupy 2 w próbach wstawiania z krzesła i zginania przedramienia w 40% uzyskały wyniki poniżej normy. W próbie „siad i osiągnięcie” wyniki poniżej normy osiągnęło 20% siostr z tej grupy. Wszystkie kobiety w próbie „drapanie po plecach” uzyskały wyniki mieszczące się w normie dla danego wieku. W próbie „wstań i idź” rezultaty poniżej normy dotyczyły tylko kobiet z grupy 2 (20%). W próbie 6-minutowego marszu badane z grupy 1 uzyskały wyniki w normie, a u 40% kobiet z grupy 2 odnotowano wyniki poniżej normy.

DYSKUSJA

Najlepsze rezultaty (w odniesieniu do norm amerykańskich) osiągnęły badane w próbach 6-minutowego marszu, zginania przedramienia oraz „wstań i idź”. Dane z kwestionariusza WHOQOL-BREF wskazują, że słuchaczki UTW dobrze oceniają swoją jakość życia. Jest to ściśle związane z prezentowanym przez nie stopniem sprawności fizycznej ocenionej za pomocą baterii testów FFFT. Podobne wyniki uzyskali Lepsy i wsp. (2021), którzy ocenili jakość życia seniorów w wieku powyżej 80 lat. Marciniak i wsp. (2020) wykazali, że u kobiet powyżej 60. roku życia poddanych treningowi nordic walking uzyskano poprawę wytrzymałości aerobowej, jak również siły górnej części ciała, co może sugerować pozytywny wpływ aktywności fizycznej na sprawność osób starszych. W badaniach własnych w próbie wytrzymałości wysiłkowej (6-minutowy marsz) przeważały wyniki powyżej normy w obu grupach kobiet. Przypuszcza się, że mogło to być spowodowane uczestnictwem w zajęciach nordic walking stanowiących jedną z pozycji programu UTW (Wiech i wsp., 2016). Niezależnie od grupy najważniejsza w ocenie jakości życia (QoL) badanych kobiet okazała się domena społeczna, a następnie psychologiczna. Słuchaczki z grupy 1 mimo starszego wieku (średnio 67 lat) wyżej oceniały ogólną jakość życia, co sugeruje, że wiek może nie być czynnikiem ograniczającym sposób postrzegania jakości życia. Xia i wsp. (2024) wykazali, że czynniki społeczne związane z jakością życia, wraz z dobrostanem psychicznym, są silnymi predyktorami satysfakcji z życia osób starszych, niezależnie od wieku. Podobnie Cao i wsp. (2016) zaobserwowali, że domena społeczna osiąga najwyższe wartości spośród wszystkich domen QoL seniorów, podczas gdy domena psychologiczna uzyskała niższe średnie wyniki, co pokazuje,

że dobrostan psychiczny może być różnie postrzegany przez różne grupy społeczne, ale nadal pozostaje istotnym elementem jakości życia. Osoby starsze zamieszkujące duże miasta deklarują zazwyczaj wyższą jakość życia, zwłaszcza w obszarze zdrowia fizycznego, psychicznego i środowiskowego, w porównaniu z osobami z małych miast lub na obszarów wiejskich. Może to wynikać z lepszego dostępu do opieki zdrowotnej, większych możliwości zaangażowania społecznego, większej dostępności usług i infrastruktury w środowiskach miejskich. Co ciekawe, mieszkańcy obszarów wiejskich lub podmiejskich często deklarują niższą jakość życia, potencjalnie z powodu ograniczonego dostępu do usług i ograniczeń środowiskowych (Pekçetin i wsp., 2025; Risal i wsp., 2020). Obserwację tę potwierdzają wyniki badań własnych. Domeny fizyczna i środowiskowa uzyskały u słuchaczek UTW w Rawiczu najniższą średnią punktów.

W badaniach własnych najlepsze wyniki zaobserwowano w próbach zginania przedramienia, „wstań i idź” oraz 6-minutowego marszu. Komponenty te mają duże znaczenie w kontekście ryzyka upadków u osób starszych, co potwierdzają badania Zhao i Chung (2016) przeprowadzone wśród 104 dorosłych w wieku 65–74 lat przebywających w ośrodku dla seniorów. Autorzy odnotowali związek obniżonej sprawności w zakresie powyższych komponentów ze zwiększonym ryzykiem upadków w populacji seniorów.

W badaniach własnych wykazano istotną statystycznie korelację wieku z wynikiem próby „wstań i idź” oraz ujemną korelację wieku z dystansem pokonanym w 6-minutowym teście marszu, co wskazuje na stopniowe pogarszanie się mobilności i wydolności funkcjonalnej wraz z wiekiem. Zależność ta znajduje potwierdzenie w badaniach Montgomery i wsp. (2020), w których porównano wyniki omawianych testów w grupach młodszych i starszych dorosłych. Autorzy zaobserwowali istotne różnice między grupami wieku oraz uznali wiek za jeden z predyktorów w teście „wstań i idź”. Wyniki te potwierdzają fakt, że proces starzenia się istotnie wpływa na zdolność wykonywania zadań wymagających równowagi dynamicznej i lokomocji.

Na podstawie analizy badań własnych stwierdzono dodatnią korelację między próbą wstawania z krzesła a zadaniami polegającymi na zginaniu przedramienia i drapaniu po plecach, co wskazuje na to, że osoby mające większą siłę kończyn dolnych osiągały lepsze wyniki również w próbach siły kończyn górnych i ruchomości obręczy barkowej. Zależności te potwierdzają Tóth i wsp. (2025), którzy analizowali związki mię-

dzy komponentami sprawności funkcjonalnej a dobrostanem psychicznym osób starszych. Autorzy również uzyskali umiarkowaną siłę korelacji między rezultatami prób zginania przedramienia i drapania po plecach świadczącą o związku siły kończyny górnej z elastycznością górnej części ciała.

W grupie 1 20% badanych uzyskało wyższe wartości w próbach wstawania z krzesła, drapania po plecach, zginania przedramienia oraz „wstań i idź” niż populacja amerykańska. W teście 6-minutowego marszu aż 70% kobiet osiągnęło wynik wyższy niż ich amerykańscy rówieśnicy. W przypadku grupy 2 wyniki wyższe niż u populacji amerykańskiej uzyskano w próbach „siad i osiągnięcie” oraz „wstań i idź” (20%), a także w teście 6-minutowego marszu (50%). Wyższy poziom sprawności funkcjonalnej polskich seniorów w porównaniu z ich amerykańskimi rówieśnikami odnotowały również Umiastowska i Kupczyk (2020).

W badaniach własnych zaobserwowano silną dodatnią korelację między próbami „drapanie po plecach” oraz „siad i osiągnięcie” wskazującą na spójność dotyczącą gibkości. Wyniki te są zgodne z badaniami Tóth i wsp. (2025), u których siła związku między próbami okazała się umiarkowana. Umiarkowany ujemny związek próby „wstań i idź” z próbami elastyczności górnej i dolnej połowy ciała w badaniach własnych jest spójny z kierunkiem zależności raportowanych przez Tóth i wsp. (2025). Dłuższy czas wykonania testu „wstań i idź”, oznaczający gorszą zwinność i równowagę dynamiczną, wiązał się z gorszymi rezultatami w zakresie gibkości. Można zatem wnioskować, że komponenty siły, gibkości i mobilności dynamicznej nie są niezależne, lecz tworzą powiązany system zdolności motorycznych, w którym deficyt jednego obszaru wpływa na obniżenie innych.

Wyniki badań własnych wskazują na to, że próba „wstań i idź” umiarkowanie ujemnie koreluje z domeną społeczną, a test zginania przedramienia umiarkowanie dodatnio koreluje z domeną środowiskową. Do podobnych spostrzeżeń doszli Lepsy i wsp. (2021), według których ograniczona mobilność dynamiczna może ograniczać uczestnictwo seniorów w aktywnościach społecznych, co przekłada się na niższą ocenę funkcjonowania społecznego. Większa siła kończyn górnych sprzyja samodzielności w wykonywaniu codziennych czynności i efektywnemu korzystaniu z zasobów środowiska, co znajduje odzwierciedlenie w lepszych wynikach w domenie środowiskowej jakości życia. Komponenty sprawności funkcjonalnej, oprócz wzajemnych zależności, mają również ogromny wpływ na wybrane wymiary jakości życia osób starszych.

Wyniki badań własnych wskazujące na istotne związki między poziomem aktywności fizycznej, jakością życia oraz sprawnością funkcjonalną pozostają w zgodzie z nowszymi badaniami populacyjnymi (Kiełtyka-Słowik i wsp., 2024; Syue i wsp., 2022). Analizy z wykorzystaniem kwestionariusza IPAQ potwierdzają, że wyższy poziom aktywności fizycznej wiąże się z korzystniejszą oceną jakości życia w różnych jego wymiarach, w tym w sferze środowiskowej i zdrowotnej ($p < 0,05$). Podobne obserwacje odnotowali Psarrou i wsp. (2023), którzy wykazali pozytywne korelacje między poziomem aktywności fizycznej a jakością życia w sferach fizycznej, społecznej i środowiskowej u dorosłych i osób starszych, co sugeruje szeroki wpływ aktywności na dobrostan fizyczny i psychospołeczny ($p < 0,001$).

W dostępnym piśmiennictwie pojawiają się też wyniki sugerujące, że aktywność fizyczna może wspierać sprawność funkcjonalną i ograniczać negatywne skutki starzenia się, co pośrednio przekłada się na jakość życia seniorów. Marquez i wsp. (2020) wykazali istotną zależność pomiędzy całkowitą aktywnością fizyczną a ogólną oceną jakości życia u osób starszych, co potwierdza przesłankę, że aktywność jest ważnym czynnikiem warunkującym dobrostan w późniejszych latach życia.

W swoim najnowszym doniesieniu Kaczorowska i wsp. (2026) podkreślają, że długoletnia aktywność fizyczna wiąże się z wyższym poziomem sprawności także u seniorów, choć związek z jakością życia nie zawsze jest bezpośredni, co sugeruje złożoność relacji między tymi zmiennymi i potrzebę dalszych badań w tej dziedzinie.

OGRANICZENIA

Ograniczeniem badań była wielkość badanej grupy. W przyszłości należy rozważyć zwiększenie liczebności próby w celu pogłębienia analizowanego zjawiska wśród słuchaczek uniwersytetów trzeciego wieku. W badaniach zastosowano celowy dobór próby badawczej. W pierwszej znalazły się osoby bardziej sprawne, do grupy drugiej kwalifikowano osoby, które w testach sprawności uzyskały dwa lub więcej wyników poniżej normy. Różnice te znalazły odzwierciedlenie w poziomie aktywności fizycznej ocenianej kwestionariuszem IPAQ w części IPAQ_chodzi (2539,50 vs 528,00). Pomimo tych ograniczeń poczynione obserwacje mogą stanowić cenną podstawę dalszych badań na większych i bardziej zróżnicowanych populacjach.

WNIOSKI

1. Wykazano istotne różnice pomiędzy dwiema grupami kobiet w zakresie poziomu sprawności funkcjonalnej – im wyższa, tym korzystniejszy poziom analizowanych parametrów.
2. Kobiety o wyższym poziomie sprawności funkcjonalnej charakteryzowały się istotnie wyższym poziomem aktywności fizycznej (MET-min/tydzień dla chodzenia oraz całkowitej aktywności fizycznej) oraz istotnymi statystycznie korelacjami wskazującymi, że większej aktywności fizycznej towarzyszył krótszy czas przebywania w pozycji siedzącej.
3. Wyższa sprawność funkcjonalna kobiet była związana z lepszą oceną jakości życia, szczególnie w domenie środowiskowej.
4. Stwierdzono istotne korelacje między poziomem aktywności fizycznej, wybranymi parametrami sprawności funkcjonalnej oraz jakością życia, co wskazuje, że wyższy poziom aktywności fizycznej i lepsza sprawność funkcjonalna sprzyja wyższej ocenie własnego zdrowia i dobrostanu kobiet w wieku starszym.
5. Aktywność fizyczna istotnie wspiera utrzymanie sprawności funkcjonalnej oraz wysokiej jakości życia osób starszych, co wskazuje na zasadność jej systematycznego promowania w populacji seniorów.

BIBLIOGRAFIA

- Biernat, E. (2013). Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej – polska długa wersja. *Polish Journal of Sports Medicine*, 29(1), 1–15.
- Biernat, E., Stupnicki, R., Gajewski, A.K. (2007). Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej (IPAQ) – wersja polska. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 51(1), 47–54.
- Cao, W., Guo, C., Ping, W., Tan, Z., Guo, Y., Zheng, J. (2016). A community-based study of quality of life and depression among older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(7), 693, <https://doi.org/10.3390/ijerph13070693>.
- Cieślik, B., Podbielska, H. (2015). Przegląd wybranych kwestionariuszy oceny jakości życia. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna*, 21(2), 102–135.
- Fragala, M.S., Cadore, E.L., Dorgo, S., Izquierdo, M., Kraemer, W.J., Peterson, M.D., Ryan, E.D. (2019). Resistance training for older adults: position statement from the national strength and conditioning association. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(8), 2019–2052, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003230>.

- Grzanka-Tykwińska, A., Chudzińska, M., Podhorecka, M., Kędziora-Kornatowska, K. (2015). Udział w zajęciach Uniwersytetów Trzeciego Wieku a aktywny styl życia osób starszych. *Gerontologia Polska*, 3, 47–50.
- GUS, Główny Urząd Statystyczny (2025). 50 lat uniwersytetów trzeciego wieku w Polsce. Warszawa: GUS. Pobrano 21.01.2026 z: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/edukacja/edukacja/50-lat-uniwersytetow-trzeciego-wieku-w-polsce,24,1.html>.
- Jones, C.J., Rikli, R.E. (2002). Measuring functional fitness of older adults. *Journal on Active Aging*, 1(1), 24–30.
- Kaczorowska, A., Kołodziej, M., Sebastian, A., Ignasiak, Z. (2026). Association between lifelong physical activity, physical fitness, and quality of life in older adults in Poland. *Scientific Reports*, 16, 5934, <https://doi.org/10.1038/s41598-026-36742-5>.
- Kiełtyka-Słowik, A., Michalik-Marcinkowska, U., Zawadzka, B. (2024). The association between physical activity and quality of life among people aged 60–89 living in own homes and nursing homes. *BMC Geriatrics*, 24(1), 280, <https://doi.org/10.1186/s12877-024-04898-2>.
- Krzepota, J., Biernat, E., Florkiewicz, B. (2013). Poziom aktywności fizycznej słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku o zróżnicowanym indeksie masy ciała. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 19(2), 200–205.
- Lepsy, E., Radwańska, E., Żurek, G., Żurek, A., Kaczorowska, A., Radajewska, A., Kołcz, A. (2021). Association of physical fitness with quality of life in community-dwelling older adults aged 80 and over in Poland: a cross-sectional study. *BMC Geriatrics*, 21, 491, <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02421-5>.
- Marciniak, K., Maciaszek, J., Cyma-Wejchenig, M., Szeklicki, R., Maćkowiak, Z., Sadowska, D., Stemplewski, R. (2020). The effect of Nordic Walking training with Poles with an integrated resistance shock absorber on the functional fitness of women over the age of 60. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), 2197, <https://doi.org/10.3390/ijerph17072197>.
- Marquez, D.X., Aguiñaga, S., Vásquez, P.M., Conroy, D.E., Erickson, K.I., Hillman, C., Stillman, C.M., Ballard, R.M., Sheppard, B.B., Petruzzello, S.J., King, A.C., Powell, K.E. (2020). A systematic review of physical activity and quality of life and well-being. *Translational Behavioral Medicine*, 10(5), 1098–1109, <https://doi.org/10.1093/tbm/ibz198>.
- Miri, S., Farhadi, B., Takasi, P., Ghorbani Vajargah, P., Karkhah, S. (2024). Physical independence and related factors among older adults: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Medicine and Surgery*, 86(6), 3400–3408, <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000002100>.
- Montgomery, G., McPhee, J., Pääsuke, M., Sipilä, S., Maier, A.B., Hogrel, J.Y., Degens, H. (2020). Determinants of performance in the timed up-and-go and six-minute walk tests in young and old healthy adults. *Journal of Clinical Medicine*, 9(5), 1561, <https://doi.org/10.3390/jcm9051561>.
- Ogonowska-Słodownik, A. (2013). Porównanie wyników kwestionariusza IPAQ, skali Borga oraz aktywności fizycznej norweskich osób starszych. *Hygeia Public Health*, 48(4), 515–519.

- Pekçetin, E., Pekçetin, S., Sağlamoğlu, E., Ekici, G. (2025). Urban versus rural older adults: occupational balance and quality of life comparison. *BMC Geriatrics*, 25, 49, <https://doi.org/10.1186/s12877-025-05694-2>.
- Piramidy populacji świata od roku 1950 do 2100. Polska 2025*. Pobrano 22.01.2024 z: <https://www.populationpyramid.net/pl/polska/2025/>
- Psarrou, A., Adamakidou, T., Apostolara, P., Koreli, A., Drakopoulou, M., Plakas, S., Mastrogianis, D., Mantoudi, A., Parissopoulos, S., Zartaloudi, A., Mantzorou, M. (2023). Associations between physical activity and health-related quality of life among community-dwelling older adults: a cross-sectional study in urban Greece. *Geriatrics*, 8(3), 61, <https://doi.org/10.3390/geriatrics8030061>.
- Risal, A., Manandhar, S., Manandhar, K., Manandhar, N., Kunwar, D., Holen, A. (2020). Quality of life and its predictors among aging people in urban and rural Nepal. *Quality of Life Research*, 29(12), 3201–3212, <https://doi.org/10.1007/s11136-020-02593-4>.
- Syed-Abdul, M.M. (2021). Benefits of resistance training in older adults. *Current Aging Science*, 14(1), 5–9, <https://doi.org/10.2174/1874609813999201110192221>.
- Syue, S.H., Yang, H.F., Wang, C.W., Hung, S.Y., Lee, P.H., Fan, S.Y. (2022). The associations between physical activity, functional fitness, and life satisfaction among community-dwelling older adults. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(13), 8043, <https://doi.org/10.3390/ijerph19138043>.
- The WHOQOL Group (1995). The World Health Organization Quality of Life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization. (1995). *Social Science and Medicine*, 41(10), 1403–1409, [https://doi.org/10.1016/0277-9536\(95\)00112-k](https://doi.org/10.1016/0277-9536(95)00112-k).
- Tóth, E.E., Vujić, A., Ihász, F., Ruíz-Barquín, R., Szabo, A. (2025). Functional fitness and psychological well-being in older adults. *BMC Geriatrics*, 25, 9, <https://doi.org/10.1186/s12877-024-05654-2>.
- Umiastowska, D., Kupczyk, J. (2020). Factors differentiating the level of functional fitness in Polish seniors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(5), 1699, <https://doi.org/10.3390/ijerph17051699>
- Wiech, M., Prusik, K., Ossowski, Z.M., Prusik, K., Kortas, J., Słomska, H., Biela-wa, Ł. (2016). Diversified health-related Nordic walking training programs and physical fitness of elderly women. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*, 8(4), 147–156, <https://doi.org/10.29359/BJHPA.08.4.16>.
- Xia, Y., Wang, G., Yang, F. (2024). A nationwide study of the impact of social quality factors on life satisfaction among older adults in rural China. *Scientific Reports*, 14, 11614, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61398-4>.
- Zdrodowska, A., Wiszomirska, I., Niemierzycka, A., Czajkowska, A., Magiera, A., Słoń, M. (2012). Sprawność fizyczna kobiet po 60 roku życia uczestniczących w zajęciach Uniwersytetu Trzeciego Wieku. *Postępy Rehabilitacji*, 3, 19–25, <https://doi.org/10.2478/rehab-2013-0042>.

- Zhao, Y., Chung, P.-K. (2016). Differences in functional fitness among older adults with and without risk of falling. *Asian Nursing Research*, 10(1), 51–55, <https://doi.org/10.1016/j.anr.2015.10.007>.
- Zielińska-Więczkowska, H., Kędziora-Kornatowska, K. (2009). Jakość starzenia się i starości w subiektywnej ocenie słuchaczy Uniwersytetu Trzeciego Wieku. *Gerontologia Polska*, 17(3), 137–142.

ABSTRACT

Quality of life and physical fitness among participants of the university of the third age in the context of physical activity

Introduction. This study was designed to examine the association between quality of life and physical fitness in participants of the University of the Third Age (U3A) in Rawicz, in the context of their level of physical activity. **Material.** A total of 30 female participants from the U3A in Rawicz took part in the study (mean age 66.0 ± 5.0 years, body height 164 ± 0.06 cm, body mass 70.45 ± 10.77 kg). The participants were divided into two groups. Group 1 comprised women with a higher level of physical fitness, defined as having only one result below the normative range in the Fullerton test. Group 2 comprised women with lower fitness levels, characterised by two or more scores below the norm. **Methods.** The study involved the use of the Fullerton Functional Fitness Test (FFFT) and the WHOQOL-BREF and IPAQ questionnaires, alongside the collection of basic anthropometric data. Significant differences were assessed using the Mann–Whitney *U* test. Associations between the variables were examined using Spearman's rank correlation coefficient ($p < 0.05$). **Results.** All participants reported a good quality of life. Significant differences between the groups were observed in the 'Timed Up and Go' test and the 'arm curl' test. In addition, scores in the environmental domain were significantly higher in group 1. A total of 18 strong or moderate correlations were identified, involving age and FFFT outcomes, as well as relationships between FFFT results, quality of life domains and levels of physical activity. Overall quality of life, self-perceived health status and the environmental domain were significantly associated with total physical activity measured in MET-min/week (IPAQ) ($p < 0.05$). **Conclusions.** Significant differences were identified between groups of women stratified by level of functional fitness. Greater functional fitness was linked to higher physical activity levels and reduced sedentary time. Significant correlations were observed between physical activity, functional fitness and quality of life, with women demonstrating higher functional fitness reporting better quality of life, particularly in the environmental domain. The findings indicate that higher levels of physical activity and better functional fitness contribute to higher self-rated health and well-being among older women.

Keywords: quality of life, ageing, physical fitness

DAWID LEŚNIAK, KAROLINA KOS

Politechnika Opolska

OCENA PRZEWLEKŁEJ NIESTABILNOŚCI STAWU SKOKOWEGO U KOBIET I MĘŻCZYZN Z WYKORZYSTANIEM Y BALANCE TEST (YBT)

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena różnic wyników Y Balance Test (YBT) w kierunkach przednim (ANT), tylno-bocznym (PL), tylno-przyśrodkowym (PM) oraz wyniku złożonego (COMP%) między osobami z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego (ang. *chronic ankle instability*, CAI) a osobami zdrowymi, z uwzględnieniem podziału na płeć. **Materiał.** Do badań zakwalifikowano 118 osób, w tym 47 kobiet ($20,6 \pm 1,39$ roku) i 71 mężczyzn ($20,8 \pm 1,68$ roku), które podzielono na dwie grupy kontrolne i dwie grupy eksperymentalne. Grupy kontrolne stanowiło 25 kobiet (CON_K) i 39 mężczyzn (CON_M), do grup eksperymentalnych włączono osoby chorujące na CAI: 22 kobiety (CAI_K) i 32 mężczyzn (CAI_M). **Metody.** Badanych włączano do grup na podstawie kwestionariusza Cumberland Ankle Instability Tool, uczucia „uciekania” stawu skokowego oraz historii urazów. Wynik ≤ 24 pkt wg CAIT kwalifikował do grupy z CAI. Ocenę stabilności dynamicznej przeprowadzono za pomocą YBT dla obu kończyn. Wyniki znormalizowano względem długości kończyny. Do analizy statystycznej wykorzystano test Kruskala–Wallisa, DSCF oraz test U Manna–Whitneya. **Wyniki.** Wykazano istotne różnice wyłącznie w kierunku przednim (YBT_ANT) ($\chi^2 = 15,18$; $p = 0,002$). Analiza hoc DSCF wykazała istotnie niższe wartości YBT_ANT w grupach eksperymentalnych w porównaniu z grupami kontrolnymi. Analizy w podziale na płeć potwierdziły istotnie gorsze wyniki w kierunku przednim zarówno u kobiet ($p = 0,030$), jak i mężczyzn ($p = 0,001$) z CAI. W pozostałych kierunkach testu (YBT_PL, YBT_PM) oraz dla wyniku złożonego (COMP%) nie stwierdzono istotnych różnic między grupami ($p > 0,05$). **Wnioski.** Osoby z grup eksperymentalnych uzyskały istotnie gorszy wynik YBT w kierunku przednim (YBT_ANT) w porównaniu z badanymi z grup kontrolnych. Różnice dotyczyły wyłącznie komponentu przedniego. Pozostałe parametry: YBT_PL, YBT_PM i COMP% nie różniły się istotnie między grupami. **Słowa kluczowe:** przewlekła niestabilność stawu skokowego (CAI), Y Balance Test, równowaga, boczne skręcenie stawu skokowego

WPROWADZENIE

Przewlekła niestabilność stawu skokowego (ang. *chronic ankle instability*, CAI) jest jednym z najczęstszych powikłań po ostrych bocznych urazach stawu skokowego – dotyczy aż 70% przypadków (Herzog i wsp., 2019). Boczne skręcenia stawu skokowego są dość powszechne, co wskazuje na to,

że problem dotyczy nie tylko osób młodych i regularnie podejmujących aktywność fizyczną (Gribble i wsp., 2016). Najbardziej narażoną na tego typu urazy grupą są sportowcy, u których uszkodzeniu ulegają najczęściej więzadła poboczne. Dochodzi do tego podczas mechanizmu inwersyjnego, stopa jest wtedy ustawiona w pozycji zgięcia podeszwowego oraz inwersji. Zjawisko to opowiada za 85% wszystkich skręceń (Song i wsp., 2019). Boczne skręcenie kostki, inaczej nazywane inwersyjnym skręceniem stawu skokowego, powstaje na skutek mechanizmów, w których stopa ulega zgięciu podeszwowemu i inwersji, przez co może dojść do uszkodzenia więzadła strzałkowo-skokowego przedniego, więzadła strzałkowo piętowego i/lub więzadła skokowo-strzałkowego tylnego (Doherty i wsp., 2014).

Ostre skręcenia kostki mają tendencję do nawrotów, które w wielu przypadkach mogą prowadzić do przewlekłej niestabilności, czyli niewydolności więzadeł bocznych kostki (Bergman i Shuman, 2025). Przewlekła niestabilność stawu skokowego (CAI) jest definiowana jako stan powtarzających się epizodów „uciekania stawu skokowego”, czyli nawracających skręceń stawu skokowego, które występują u pacjenta dłużej niż rok po pierwszym urazie stawu skokowego (Hertel i Corbett, 2019). Zgodnie z wytycznymi International Ankle Consortium diagnozowanie CAI jest zalecane w przypadku, gdy u pacjenta pojawiają się takie objawy kliniczne, jak ból w obrębie stopy i stawu skokowego, ograniczenie zakresu ruchu, hipermobilność zakresu ruchu, uczucie „uciekającego” stawu skokowego podczas najprostszych czynności dnia codziennego lub podczas ćwiczeń fizycznych, nawracający obrzęk stawu skokowego, „ocieplenie” stawu, osłabienie aparatu więzadłowego w okolicy kostki oraz nawracające skręcenia stawu skokowego nawet przy niewielkiej aktywności fizycznej (Herzog i wsp., 2019).

Czynniki ryzyka skręceń stawu skokowego można podzielić na zewnętrzne, do których wlicza się nieodpowiedni dobór obuwia, nieprawidłowe metody treningowe oraz nierówności podłoża, i wewnętrzne, zwiększające ryzyko urazu. Zaliczamy do nich wiek, nadmierną masę ciała, wcześniejsze urazy stawu skokowego, nieprawidłowe ustawienie kończyn dolnych, a także zaburzenia propriocepcji (Bergman i wsp., 2025; Kramer i wsp., 2023). Jednym z czynników jest również płeć. W populacji kobiet problem skręceń stawu skokowego jest bardziej powszechny ze względu na większą częstotliwość urazów: 13,6/1000 ekspozycji w porównaniu z 6,9/1000 w populacji mężczyzn (Herzog i wsp., 2019). Na rozwój omawianych zaburzeń może wpływać także wiele innych czynników, takich

jak zwiększona wiotkość stawowa, częściej obserwowana u kobiet, czy osłabiona kontrola sensomotoryczna (Mason i wsp., 2022).

Częste skręcenia stawu skokowego powodują uszkodzenia mechanoreceptorów stawu oraz zaburzają odbiór informacji czuciowych z okolicy stawu, co skutkuje zaburzeniem priopriocepcji (Xue i wsp., 2021). Prawidłowa priopriocepcja stawu skokowego stanowi główny element kontroli równowagi (Han i wsp., 2015). Osoby z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego uzyskują istotnie gorsze wyniki w testach funkcjonalnych badających stabilność posturalną, takich jak Star Excursion Balance Test (SEBT) czy Y Balance Test (YBT), w porównaniu z osobami, które nie doświadczyły urazu. Świadczy to o zaburzonej percepcji oraz osłabionej zdolności stabilizacji po urazach stawu skokowego (Picot i wsp., 2022). Y Balance Test jest uproszczoną do trzech podstawowych kierunków wersją testu SEBT. Charakteryzuje się wysokim poziomem wiarygodności jako wskaźnik urazów w kończynach dolnych, zwłaszcza w stawie skokowym, ponieważ wyniki poniżej normy wskazują na przewlekłą niestabilność stawu skokowego spowodowaną brakiem zakresu ruchu zgięcia grzbietowego (Neves i wsp., 2017). Y Balance Test jest powszechnie stosowany do oceny kontroli posturalnej. W literaturze przedmiotu dominują badania obejmujące grupy mieszane, brakuje natomiast opracowań analizujących wyniki YBT osobno dla kobiet i mężczyzn borykających się z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena różnic wyników YBT w kierunku przednim (ANT), tylnio-bocznym (PL), tylnio-przyśrodkowym (PM) oraz wyniku złożonego (COMP%) osiąganych przez osoby z CAI i osoby zdrowe, z uwzględnieniem podziału na płeć.

Badania zostały przeprowadzone w ramach grantu naukowego „Nauka dla zdrowego społeczeństwa – profilaktyka przewlekłej niestabilności stawu skokowego” finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Uzyskały także zgodę Komisji Bioetycznej przy Instytucie Immunologii i Terapii doświadczałnej im. Ludwika Hirszfelda Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 118 uczestników, w tym 71 mężczyzn oraz 47 kobiet. Wszystkie osoby zostały przydzielone do czterech odpowiednich grup za pomocą kwestionariusza Cumberland Ankle Instability Tool (CAIT). Do grup kontrolnych (CON_K i CON_M) zakwalifikowano osoby bez historii urazów stawu skokowego zarówno prawej, jak i lewej kończyny dolnej, które uzyskały w kwestionariuszu CAIT wynik powyżej 24 pkt i nigdy nie doświadczyły uczucia „uciekania” stawu skokowego. Dwie grupy eksperymentalne (CAI_K i CAI_M) stanowiły osoby zgłaszające subiektywne uczucie niestabilności, które w kwestionariuszu CAIT uzyskały wynik mniejszy lub równy 24 pkt dla przynajmniej jednej kończyny dolnej (Stefaniak i wsp., 2024). Skala CAIT służy do oceny niestabilności stawu skokowego. Składa się z dziewięciu pozycji, w których można uzyskać od 0 do 30 pkt (wynik mniejszy i równy 24 pkt oraz uczucie „uciekania” stawu świadczą o CAI). Skala CAIT wykazuje dobrą wiarygodność oraz trafność pomiarów (Hiller i wsp., 2006). W badaniach uwzględniono osoby o prawidłowej masie ciała (BMI 18,5–24,5) oraz z nadwagą (BMI 24,5–29,9), co pozwoliło na bardziej spójną analizę bez silnego wpływu skrajnych pomiarów antropometrycznych.

Wśród kobiet (wiek $20,6 \pm 1,39$ roku) do grupy kontrolnej (CON_K) zostało zaklasyfikowanych 25 osób, a do grupy z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego (CAI_K) – 22 osoby. Wśród mężczyzn (wiek $20,8 \pm 1,68$ roku) grupę kontrolną (CON_M) stanowiło 39 osób, a grupę po przebytych urazach skrętnych stawu skokowego (CAI_M) – 32.

Pacjenci wchodzący w skład grupy CAI musieli spełnić kryteria włączenia, takie jak: wiek 18–25 lat, BMI w zakresie 18,5–29,9, wystąpienie uczucia niestabilności stawu skokowego minimum dwukrotnie w ciągu 12 miesięcy poprzedzających badania, uzyskanie wyniku mniejszego lub równego 24 pkt w skali CAIT oraz subiektywne odczuwanie niestabilności w stawie skokowym (Stefaniak i wsp., 2024), brak przebytych operacji kończyn dolnych, brak urazów w ciągu 4 tygodni od badań funkcjonalnych, poprawne wypełnienie ankiety i skali CAIT. Czynnikiem wykluczającym pacjentów z grupy CAI było uzyskanie wyniku powyżej 24 pkt w skali CAIT, BMI poniżej 18,5 (niedowaga) lub powyżej 30 (otyłość), brak uczucia niestabilności w ciągu 12 miesięcy poprzedzających badania,

Tabela 1. Charakterystyka badanych grup)

Parametr	CON_K (n = 25) $\bar{x} \pm SD$	CAI_K (n = 22) $\bar{x} \pm SD$	Kobiety ogółem (n = 47) $\bar{x} \pm SD$	CON_M (n = 39) $\bar{x} \pm SD$	CAI_M (n = 32) $\bar{x} \pm SD$	Mężczyźni ogółem (n = 71) $\bar{x} \pm SD$
Wiek (lata)	20,4 ± 1,33	20,9 ± 1,46	20,6 ± 1,39	20,7 ± 1,49	20,8 ± 1,91	20,8 ± 1,68
Wzrost (cm)	168 ± 5,48	166 ± 5,39	167 ± 5,46	181 ± 7,77	180 ± 6,77	181 ± 7,30
Masa ciała (kg)	60,8 ± 10,6	63,4 ± 11	62 ± 10,7	78,8 ± 13	81,3 ± 13,8	79,9 ± 13,4

CON_K – grupa kontrolna kobiet, CON_M – grupa kontrolna mężczyzn
CAI_K – grupa eksperymentalna kobiet, CAI_M – grupa eksperymentalna mężczyzn

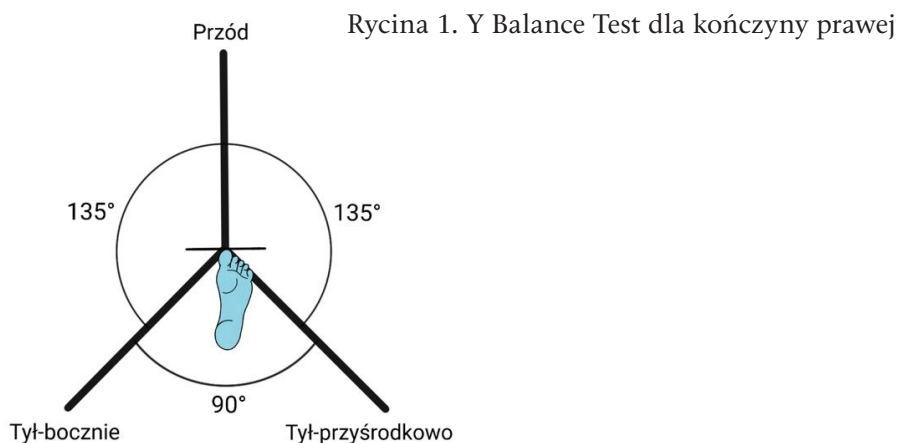
wiek poniżej 18 lat i powyżej 25 lat, przebyte operacje w obrębie kończyn dolnych, uraz w ciągu 4 tygodni od badań funkcjonalnych, brak wypełnionej ankiety i skali CAIT.

Badani z grupy kontrolnej (CON) musieli spełniać następujące kryteria włączania: wiek od 18–25 lat, BMI w zakresie 18,5–29,9, brak uczucia niestabilności stawu skokowego, brak historii urazu stawu skokowego, uzyskanie wyniku powyżej 24 pkt w skali CAIT dla nogi dominującej, brak przebytych operacji kończyn dolnych, brak urazów w ciągu 4 tygodni od badań funkcjonalnych, poprawne wypełnienie ankiety i skali CAIT. Kryteria wyłączenia obejmowały: uzyskanie wyniku poniżej lub równego 24 pkt w skali CAIT, historię urazu w stawie skokowym, uczucie niestabilności w ciągu 12 miesięcy poprzedzających badania, wiek poniżej 18 lat i powyżej 25 lat, BMI poniżej 18,5 (niedowaga) lub powyżej 30 (otyłość), przebyte operacje w obrębie kończyn dolnych, uraz w ciągu 4 tygodni od badań funkcjonalnych, brak wypełnionej ankiety i skali CAIT.

Wszyscy uczestnicy projektu wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach oraz na udostępnienie danych osobowych do celów naukowych. Charakterystykę badanych w poszczególnych grupach przedstawiono w tabeli 1.

Metody

Badania zostały przeprowadzone w okresie od 4 listopada 2024 do 5 marca 2025 r. na terenie Politechniki Opolskiej w klimatyzowanym pomieszczeniu o stałej temperaturze. Testy odbywały się w jednakowych warunkach dla wszystkich pacjentów.



Przed rozpoczęciem badań uczestnikom zmierzono długość kończyn dolnych (początek pomiaru: kołec biodrowy przedni górny, koniec pomiaru: początek kostki przyśrodkowej). Pomiar ten jest konieczny do uzyskania prawidłowego wyniku YBT. Zanim rozpoczęto próby pomiarowe, każdy badany został poinstruowany o właściwym sposobie wykonania testu. Następnie przechodził test próbny zarówno na lewej, jak i prawej kończynie dolnej (Picot i wsp., 2022). Po zakończeniu próbnych serii badany przystępował do trzech serii głównych (na jedną serię składa się wskazanie kierunku przedniego, kierunku tylno-bocznego oraz kierunku tylno-przyśrodkowego), w ustawieniu raz na lewej, raz na prawej nodze. Badana osoba stała boso na testowanej kończynie w wyznaczonym miejscu, ręce oparte na biodrach, i miała za zadanie sięgać przeciwną nogą we wskazanych kierunkach, tak aby jak najlepiej zaznaczyć dany kierunek paluchem stopy bez odrywania pięty nogi podporowej (ryc. 1). Za błąd uznawano oderwanie pięty, przeniesienie ciężaru ciała na nogę wskazującą, upadek lub potknięcie się oraz oderwanie rąk od kołców biodrowych.

W celu znormalizowania wyniku do analizy wykorzystano średni wynik z trzech prób dla każdego kierunku: przedniego, tylno-bocznego, tylno-przyśrodkowego – osobno dla prawej i lewej kończyny dolnej (Picot i wsp., 2022). Zastosowany wzór umożliwia ujednolicenie wyników testu poprzez ich odniesienie do długości kończyny, co umożliwia rzetelne porównanie wyników osób o różnej budowie ciała.

$$[\text{średnia z 3 prób w danym kierunku (cm)} / \text{długość badanej kończyny (cm)}] \times 100 = \text{wynik znormalizowany (\%)}$$

Aby otrzymać złożony wynik znormalizowany (ang. *composite score*, COMP), należy obliczyć średnią arytmetyczną wyników uzyskanych w trzech kierunkach:

$$\begin{aligned} & [\text{wynik znormalizowany w kierunku ANT (\%)} + \text{wynik znormalizowany} \\ & \text{w kierunku PM (\%)} + \text{wynik znormalizowany w kierunku PL (\%)}] / 3 = \\ & = \text{composite score YBT (\%)} \end{aligned}$$

Analiza statystyczna

Do analizy wykorzystano statystyki opisowe. Normalność rozkładu oceniono testem Shapiro–Wilka. Ze względu na niejednorodność rozkładów badanych zmiennych zdecydowano się na zastosowanie jednorodnego podejścia analitycznego opartego na testach nieparametrycznych.

Różnice pomiędzy czterema grupami oceniono za pomocą testu Kruskal–Wallisa, w przypadku istotnego wyniku przeprowadzano porównanie testem DSCF (Dwass–Steel–Critchlow–Fligner), który jest testem post hoc. Dodatkowo przeprowadzono analizy osobno dla płci. Testem *U* Manna–Whitneya dla prób niezależnych porównano CAI_K vs CON_K oraz CAI_M vs CON_M. Analizy wykonano w programie Jamovi (wersja 2.6.44.0). Przyjęto poziom istotności $p < 0,05$ (testy dwustronne).

WYNIKI

Ze względu na charakter rozkładu danych w analizach porównawczych interpretowano przede wszystkim medianę (tab. 2). Odchylenie standardowe (*SD*) oraz zakres min.–max przedstawiono pomocniczo jako miary zróżnicowania wyników.

Za pomocą testu Kruskala–Wallisa, którym porównano wyniki uzyskane w czterech grupach (tab. 3), wykazano istotne różnice jedynie dla parametru YBT_ANT [$\chi^2(3) = 15,18$; $p = 0,002$]. W przypadku pozostałych parametrów (YBT_PL, YBT_PM, COMP %) nie stwierdzono istotnych różnic między grupami ($p > 0,05$).

Analiza post hoc DSCF (tab. 4) pozwoliła wykazać istotne różnice między grupami CAI_K i CON_M ($p = 0,039$) oraz CAI_M i CON_M ($p = 0,006$). Pozostałe porównania nie osiągnęły istotności statystycznej ($p > 0,05$). Analizy post hoc przeprowadzono wyłącznie dla parametru YBT_ANT, ponieważ tylko dla tego kierunku w teście Kruskala–Wallisa odnotowano istotne różnice między grupami. Porównania post hoc obej-

Tabela 2. Statystyki opisowe analizowanych parametrów w czterech grupach badanych

Parametr	Grupa	<i>n</i>	Mediana	<i>SD</i>	Minimum	Maksimum
YBT_ANT	CAI_K	22	71,0	7,36	61,5	85,9
	CAI_M	32	72,8	7,03	61,5	89,7
	CON_K	25	75,9	8,16	66,7	106,2
	CON_M	39	76,7	4,78	70,8	91,2
YBT_PL	CAI_K	22	108,7	15,14	62,6	136,8
	CAI_M	32	112,2	8,48	95,9	126,0
	CON_K	25	107,6	13,09	90,4	152,8
	CON_M	39	112,2	8,38	98,5	132,9
YBT_PM	CAI_K	22	108,0	9,74	86,8	125,2
	CAI_M	32	106,8	7,87	91,8	122,6
	CON_K	25	101,5	13,50	84,9	144,6
	CON_M	39	106,6	10,02	87,3	128,7
COMP %	CAI_K	22	95,0	9,10	77,0	115,0
	CAI_M	32	98,8	6,10	84,9	106,6
	CON_K	25	95,1	10,75	83,7	134,5
	CON_M	39	98,3	6,69	88,3	115,4

Tabela 3. Porównanie czterech grup badanych (test Kruskala–Wallisa)

Parametr	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
YBT_ANT	15,18	3	0,002
YBT_PL	5,64	3	0,130
YBT_PM	3,47	3	0,325
COMP%	3,73	3	0,292

Tabela 4. Porównanie par między grupami dla parametru YBT_ANT (test DSCF)

Zmienna1	Zmienna2	<i>W</i>	<i>p</i>
CAI_K	CAI_M	0,498	0,985
CAI_K	CON_K	3,091	0,127
CAI_K	CON_M	3,760	0,039
CAI_M	CON_K	3,525	0,061
CAI_M	CON_M	4,601	0,006
CON_K	CON_M	0,788	0,945

Tabela 5. Porównanie grup CAI i kontrolnej osobno dla kobiet i mężczyzn
(test *U* Manna–Whitneya)

Parametr	CAI_K (med.)	CON_K (med.)	<i>U</i>	<i>p</i>	Efekt	CAI_M (med.)	CON_M (med.)	<i>U</i>	<i>p</i>	Efekt
YBT_ANT	71,0	75,9	173	0,030	0,373	72,8	76,7	343	0,001	0,451
YBT_PL	108,7	107,6	269	0,908	0,022	112,2	112,2	580	0,611	0,071
YBT_PM	108,0	101,5	205	0,138	–0,255	106,8	106,6	617	0,936	0,012
COMP %	95,0	95,1	275	1,000	0,000	98,8	98,3	557	0,442	0,107

CON_K – grupa kontrolna kobiet, CON_M – grupa kontrolna mężczyzn

CAI_K – grupa eksperymentalna kobiet, CAI_M – grupa eksperymentalna mężczyzn

Dane przedstawiono jako mediany.

mowały wszystkie pary grup, natomiast wnioskowanie kliniczne oparto na analizach w obrębie płci.

Wyniki porównań osobno dla kobiet i mężczyzn przedstawiono w tabeli 5. Istotne różnice między grupą CAI i grupą CON odnotowano wyłącznie w przypadku YBT_ANT: u kobiet CAI_K vs CON_K ($p = 0,030$) oraz u mężczyzn CAI_M vs CON_M ($p = 0,001$). W odniesieniu do pozostałych parametrów (YBT_PL, YBT_PM, COMP%) nie stwierdzono istotnych różnic ($p > 0,05$). Analizy przeprowadzono osobno dla płci w celu zwiększenia znaczenia klinicznego wyników.

DYSKUSJA

Na podstawie przedstawionych badań stwierdzono istotne statystycznie różnice w obrębie parametru YBT_ANT – kluczowe rozbieżności w tym kierunku odnotowano zarówno u kobiet, jak i mężczyzn, co może sugerować podobny wzorzec deficytu w CAI niezależnie od płci. Nie oceniano interakcji płeć $\times$ przynależność do grupy, dlatego nie można było porównać nasilenia efektu między płciami. Badani z grupy CAI (kobiety i mężczyźni) uzyskali gorszy wynik wyłącznie w tym kierunku. Różnice te charakteryzowały się umiarkowaną wielkością efektu (kobiety: $r = 0,373$; mężczyźni: $r = 0,451$). Nie zaobserwowano gorszej kontroli dynamicznej w kierunkach YBT_PL, YBT_PM oraz w wyniku złożonym COMP%. W kierunkach bocznych możliwa jest kompensacja poprzez strategię biodra oraz tułowia, które mogą maskować różnice tylko w jednym kierunku, co może wyrównywać osiągnięcia zasięg mimo zaburzeń w obrębie stawu

skokowego. Jednak jest to tylko hipoteza, a nie wynik badań. COMP% jest wskaźnikiem złożonym agregującym wyniki z poszczególnych kierunków testu YBT, dlatego różnice ograniczone do jednego kierunku (np. YBT_ANT) mogą ulec „rozmyciu” w wartości złożonej. W konsekwencji podobne wartości w pozostałych kierunkach (YBT_PL i YBT_PM) mogły kompensować spadek w kierunku przednim, skutkując brakiem istotnych różnic w COMP% pomiędzy grupami. W pracy Picota i wsp. (2022) stwierdzono, że największy rozmiar efektu należy do kierunku YBT_PL, jednak wyniki tego testu wydają się zależne od dyscypliny sportowej (Stiffler i wsp., 2015). Oprócz tego kierunek YBT_ANT wydaje się kluczowy w kontekście czynników urazów kończyn dolnych, ponieważ absolutna asymetria ≥ 4 cm była związana z 2,5-krotnie zwiększonym ryzykiem (Picot i wsp., 2022). Przytoczone dane stanowią kontekst literaturowy i nie były podmiotem oceny w badaniach własnych. W ujęciu klinicznym istotny wynik kierunku YBT_ANT i brak wyniku dla kierunków YBT_PL, YBT_PM oraz wynik złożony COMP% wpisuje się w podejście mówiące, że pojedyncze wyniki testu lub wynik jednego wskaźnika złożonego nie mogą stanowić jedynej podstawy wnioskowania o przewlekłej niestabilności stawu skokowego. Kluczowy w prawidłowej ocenie będzie zestaw testów pozwalających ocenić ten problem wielowymiarowo, pomocny może się tu okazać side hop test. Warto rozważyć również dodatkowe formularze oraz badania EMG służące do oceny elektrycznej czynności mięśni. Z praktycznego punktu widzenia YBT oraz parametr YBT_ANT może stanowić ważny element oceny funkcjonalnej u osób z CAI, nie należy go jednak rozpatrywać jako jedyne kryterium. Uzyskane wyniki wskazują, że istotne różnice dotyczą kierunku YBT_ANT, co może świadczyć o deficytach w zakresie dynamicznej stabilizacji stawu skokowego u osób z CAI. Wskazanie kierunku przedniego wymaga wysokiego poziomu kontroli nerwowo-mięśniowej oraz priopriocepcji. Brak istotnych różnic w kierunkach bocznych może być spowodowany efektem kompensacyjnych strategii ruchowych z udziałem biodra i tułowia, które umożliwiają utrzymanie zasięgu mimo lokalnych deficytów. Podobny wzorzec wyników u kobiet i mężczyzn może sugerować, że mechanizmy leżące u podłoża CAI mają zbliżony charakter niezależnie od płci. W ujęciu klinicznym szczególne znaczenie diagnostyczne wydaje się mieć analiza kierunku przedniego, natomiast ocena stabilności powinna mieć charakter wielowymiarowy.

OGRANICZENIA

Y Balance Test pozwala ocenić głównie zasięg wykonywanego podczas testu ruchu (podawany w centymetrach), a nie jego jakość. Nie bierze się w nim pod uwagę również subiektywnego uczucia niestabilności, co może uniemożliwiać wykrywanie subtelnych zaburzeń kontroli posturalnej. W badaniach nie analizowano poziomu sprawności fizycznej osób poddanych testowi, czyli takich czynników, jak częstotliwość ich aktywności i rodzaj uprawianego przez nie sportu, co mogło wpłynąć na uzyskane wyniki. Podział na podgrupy płci zmniejszył liczebność porównań oraz ograniczył moc statystyczną dla części parametrów. Badania miały charakter przekrojowy i nie pozwalają na wnioskowanie przyczynowo-skutkowe oraz ocenę zależności prognostycznych.

WNIOSKI

Osoby z przewlekłą niestabilnością stawu skokowego osiągały gorszy wynik w kierunku YBT_ANT w porównaniu z badanymi z grupy kontrolnej, zarówno wśród kobiet, jak i mężczyzn. W przypadku parametrów YBT_PL, YBT_PM oraz wskaźnika COMP% nie wykazano istotnych różnic pomiędzy grupą kontrolną a grupą eksperymentalną, zarówno w przypadku kobiet, jak i mężczyzn. Zaobserwowane różnice w YBT_ANT charakteryzowały się umiarkowaną wielkością efektu, co może sugerować potencjalną użyteczność kierunku przedniego w ocenie funkcjonalnej osób z CAI oraz możliwość wykorzystywania w monitorowaniu efektów terapii. Praktyka kliniczna powinna koncentrować się na poprawie kontroli nerwowo-mięśniowej i stabilizacji w płaszczyźnie strzałkowej.

BIBLOGRAFIA

- Bergman, R., Shuman, V.L. (2025). *Acute ankle sprain*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. Pobrano z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459212/>.
- Doherty, C., Delahunt, E., Caulfield, B., Hertel, J., Ryan, J., Bleakley, C. (2014). The incidence and prevalence of ankle sprain injury: a systematic review and meta-analysis of prospective epidemiological studies. *Sports Medicine*, 44(1), 123–140, <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0102-5>.
- Gribble, P.A., Bleakley, C.M., Caulfield, B.M., Docherty, C.L., Fouchet, F., Fong, D.T.-P., Hertel, J., Hiller, C.E., Kaminski, T.W., McKeon, P.O., Refshauge, K.M., Verhagen, E.A., Vicenzino, B.T., Wikstrom, E.A., Delahunt, E. (2016). 2016 consensus statement of the International Ankle Con-

- sortium: prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. *British Journal of Sports Medicine*, 50(24), 1493–1495, <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096188>.
- Han, J., Anson, J., Waddington, G., Adams, R., Liu, Y. (2015). The role of ankle proprioception for balance control in relation to sports performance and injury. *BioMed Research International*, 2015, 842804, <https://doi.org/10.1155/2015/842804>.
- Hertel, J., Corbett, R.O. (2019). An updated model of chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 54(6), 572–588, <https://doi.org/10.4085/1062-6050-344-18>.
- Herzog, M.M., Kerr, Z.Y., Marshall, S.W., Wikstrom, E.A. (2019). Epidemiology of ankle sprains and chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 54(6), 603–610, <https://doi.org/10.4085/1062-6050-447-17>.
- Hiller, C.E., Refshauge, K.M., Bundy, A.C., Herbert, R.D., Kilbreath, S.L. (2006). The Cumberland ankle instability tool: a report of validity and reliability testing. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(9), 1235–1241, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.05.022>.
- Kramer, Z., Lee, Y.W., Sherrick, R. (2023). Acute ankle sprains. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 40(1), 117–138, <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2022.07.008>.
- Mason, J., Kniewasser, C., Hollander, K., Zech, A. (2022). Intrinsic risk factors for ankle sprain differ between male and female athletes: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine Open*, 8(1), 139, <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00530-y>.
- Neves, L.F., Souza, C.Q.D., Stoffel, M., Picasso, C.L.M. (2017). The Y Balance Test: how and why to do it? *International Physical Medicine and Rehabilitation Journal*, 2(4), 261–262, <https://doi.org/10.15406/ipmrj.2017.02.00058>.
- Picot, B., Hardy, A., Terrier, R., Tassignon, B., Lopes, R., Fourchet, F. (2022). Which functional tests and self-reported questionnaires can help clinicians make valid return to sport decisions in patients with chronic ankle instability? A narrative review and expert opinion. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4, 902886, <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.902886>.
- Song, Y., Li, H., Sun, C., Zhang, J., Gui, J., Guo, Q., Song, W., Duan, X., Wang, X., Wang, X., Shi, Z., Chinese Society of Sports Medicine, Hua, Y., Tang, K., Chen, S. (2019). Clinical guidelines for the surgical management of chronic lateral ankle instability: a consensus reached by systematic review of the available data. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 7(9), 2325967119873852, <https://doi.org/10.1177/2325967119873852>.
- Stefaniak, W., Marusiak, J., Bączkiewicz, D. (2024). Myotonometric assessment of peroneus longus muscle mechanical properties during contraction in athletes with and without chronic ankle instability. *Journal of Biomechanics*, 176, 112308, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2024.112308>.
- Stiffler, M. R., Sanfilippo, J.L., Brooks, M.A., Heiderscheit, B.C. (2015). Star excursion balance test performance varies by sport in healthy division I collegiate athletes. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 45(10), 772–780, doi: 10.2519/jospt.2015.5777.

Xue, X., Ma, T., Li, Q., Song, Y., Hua, Y. (2021). Chronic ankle instability is associated with proprioception deficits: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 10(2), 182–191, <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2020.09.014>.

ABSTRACT

Assessment of chronic ankle instability in women and men using the Y Balance Test

Introduction. The study was designed to assess differences in Y Balance Test (YBT) outcomes in the anterior (ANT), posterolateral (PL), and posteromedial (PM) directions, together with the composite score (COMP%), between individuals with chronic ankle instability (CAI) and healthy participants, taking sex into account. **Material.** A total of 118 participants were included in the study: 47 women aged 20.6 ($\pm$ 1.39 years) and 71 men aged 20.8 ($\pm$ 1.68 years), who were allocated to two control groups and two experimental groups. The control groups consisted of 25 female participants (CON_K) and 39 male participants (CON_M). The experimental groups included individuals diagnosed with CAI: 22 female participants (CAI_K) and 32 male participants (CAI_M). **Methods.** Participants ($n = 118$) were classified into groups based on the Cumberland Ankle Instability Tool questionnaire, the sensation of ankle ‘giving way’, and injury history. A score of ≤ 24 points on the CAIT was used as a criterion for classification into the CAI group. Dynamic stability was evaluated using the YBT in both limbs. The results were normalised to limb length. Statistical analysis was performed using the Kruskal–Wallis test, the DSCF test, and the Mann–Whitney U test. **Results.** Analysis across the four groups revealed statistically significant differences exclusively in the anterior direction of the YBT (YBT_ANT) ($\chi^2 = 15.18$; $p = 0.002$). Post hoc analysis using the DSCF test demonstrated significantly reduced YBT_ANT values in the chronic ankle instability experimental groups relative to their respective control groups. Sex-specific analyses confirmed significantly poorer performance in the anterior direction among both female ($p = 0.030$) and male ($p = 0.001$) participants with CAI. No significant differences were observed between the groups in the remaining test directions (YBT_PL, YBT_PM) or in the composite score (COMP%) ($p > 0.05$). **Conclusions.** Participants achieved significantly lower YBT scores in the anterior direction (YBT_ANT) compared with those in the control groups. The differences were confined to the anterior component. For other parameters, no significant differences between the groups were observed for YBT_PL, YBT_PM, or COMP%.

Keywords: chronic ankle instability (CAI), Y Balance Test, balance, lateral ankle sprain

ZOFIA KONICER¹, SŁAWOMIR WINIARSKI²

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Katedra Fizjologii i Biomechaniki, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu
Studenckie Koło Naukowe Kinesis

BIOMECHANICZNA ANALIZA TESTU 5XSTS Z WYKORZYSTANIEM CZUJNIKÓW IMU I PLATFORM SIŁ REAKCJI PODŁOŻA – BADANIA PILOTAŻOWE

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było opracowanie protokołu raportu wynikowego instrumentowanej wersji testu 5x Sit-to-Stand (5xSTS) obejmującego model fazowy, zmienne kinematyczne oraz dynamiczne, z wykorzystaniem systemu analizy ruchu. **Materiał.** W projekcie wzięła udział jedna zdrowa osoba dorosła. **Metody.** Wykorzystano 16-czujnikowy system IMU oraz dwie platformy dynamograficzne rejestrujące składowe siły reakcji podłoża (ang. *ground reaction force*, GRF). Opracowano automatyczny protokół czasowy cyklu wstawanie–siadanie wyznaczany na podstawie kąta i prędkości kątowej tułowia. Analizie parametrycznej poddano czas trwania faz, zakresy ruchu stawu biodrowego i tułowia, prędkości kątowe oraz maksymalne i minimalne wartości składowych GRF wraz z oceną asymetrii między stroną lewą i prawą. **Wyniki.** Zaproponowany model fazowy umożliwił wyodrębnienie faz: *pre stand-up*, *stand-up*, *sit-down* oraz *post sit-down*. Faza wstawania właściwego stanowiła dominujący element części stojącej cyklu. W fazie siadania zaobserwowano m.in. większą dynamikę ruchu tułowia oraz zwiększoną rotację w płaszczyźnie poprzecznej. Analiza GRF wykazała charakterystyczny dwuszczytowy przebieg składowej pionowej oraz asymetrię obciążenia kończyn dolnych z dominacją strony prawej w większości cyklu. Składowe przednio-tyłne i boczne wskazywały na obecność strategii kompensacyjnych w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. **Wnioski.** Instrumentowana analiza 5xSTS pozwala na obiektywną, fazową ocenę jakości wykonania zadania, ujawniając informacje niedostępne w tradycyjnej wersji testu. Integracja danych kinematycznych i dynamicznych zwiększa czułość diagnostyczną testu oraz jego przydatność w ocenie asymetrii obciążenia i monitorowaniu efektów rehabilitacji.

Słowa kluczowe: test wstawania z krzesła, biomechanika, równowaga, platforma sił reakcji podłoża, inercyjne jednostki pomiarowe

WPROWADZENIE

Funkcjonalne testy sprawnościowe, powszechnie wykorzystywane w pracy fizjoterapeutów, służą do oceny możliwości wykonawczych pacjenta lub do określenia jego ograniczeń funkcjonalnych (Reiman i Manske, 2009). Wykonuje się je na etapie stawiania diagnozy i w trakcie terapii,

tak aby regularnie monitorować postępy pacjenta (lub ich brak), a także w celu potwierdzenia decyzji o zakończeniu procesu rehabilitacji. Terapeuta podejmuje odpowiednie kroki na podstawie interpretacji otrzymanych wyników, dlatego powinny być one możliwie obiektywne. Niestety okazuje się, że szeroko stosowane testy zawierają nieprecyzyjne kryteria oceny, ponieważ to terapeuta decyduje o przyznaniu badanemu liczby punktów (np. w skali 0–5 dla testu Lovetta) lub odpowiada za wykonanie pomiaru (np. czasu stoperem). Wraz z rozwojem możliwości technologicznych dąży się do zwiększenia precyzyjności pomiarów poprzez zastosowanie sensorów, systemów komputerowych oraz oprogramowania minimalizującego błąd pomiarowy wynikający z czynnika ludzkiego.

Test 5x Sit-to-Stand (5xSTS), znany również pod nazwą Chair Rise Test lub 5-Chair Stand Test, służy do oceny siły i wytrzymałości kończyn dolnych. Polega na pomiarze czasu potrzebnego osobie badanej do tego, aby pięciokrotnie wstać i usiąść na krześle o standardowych wymiarach bez użycia rąk do podparcia. W teście wykorzystuje się pośredni pomiar siły i mocy mięśni kończyn dolnych, co pozwala określić wydolność funkcjonalną badanego podczas wykonywaniu zadań dnia codziennego z uwzględnieniem założenia, że wydłużony do ponad 15 s czas testu (zgodnie z kryteriami The European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (Cruz-Jentoft i wsp., 2019) wskazuje na mniejszą siłę mięśni prostowników biodra i kolana, osłabienie organizmu, osłabienie zdolności do generowania mocy i potencjalną sarkopenię (Glenn i wsp., 2017). Test ma szerokie zastosowanie w diagnostyce, umożliwiając ocenę mobilnej funkcjonalności, a także ruchliwości związanej z wielokrotną zmianą pozycji ciała osób po całkowitej endoprotezoplastyce stawu kolanowego (Medina-Mirapeix i wsp., 2018), pacjentów ze stwardnieniem rozsianym (Patrick i wsp., 2025) czy chorobą Parkinsona (Duncan i wsp., 2011). Pozwala określić prawdopodobieństwo wystąpienia poważnych upadków u osób starszych (Atrsaei i wsp., 2022) lub opuszczających oddziały intensywnej terapii, pojawienie się patologii w obrębie kręgosłupa lędźwiowego (Staartjes i Schröder, 2018), zespołu kruchości (ang. *frailty*) (Baltasar-Fernandez i wsp., 2021) lub schorzeń ortopedycznych. Test 5xSTS służy do szybkiego badania siły mięśni, jest łatwy do wykonania (zarówno w warunkach klinicznych, jak i środowiskowych) i nie wymaga specjalistycznego sprzętu.

W ostatnich latach wzrasta liczba prac opisujących nowoczesne rozwiązania mające na celu zaprojektowanie instrumentalnych (ang. *instrumented*), czyli przeprowadzanych za pomocą precyzyjnego przyrządu,

wersji znanych już testów funkcjonalnych, w tym 5xSTS. Jung i wsp. (2021) podjęli się sprawdzenia skuteczności diagnostycznej zautomatyzowanego programu opierającego się na danych zebranych przez dwa czujniki umieszczone na krześle, na którym testowano badanego z diagnozą postawioną przez doświadczonych terapeutów. Okazało się, że dzięki umiejętnie zbudowanemu algorytmowi poprawność programu była bardzo wysoka, co skłania badaczy do tworzenia coraz bardziej rozbudowanych i dokładniejszych urządzeń pomiarowych. Mantri i wsp. (2024) opracowali metodę wykorzystania w teście 5xSTS rejestracji obrazu za pomocą dedykowanej aplikacji w smartfonie, która umożliwiła zapisanie ogólnych statystyk czasowych, w tym całkowitego czasu trwania zadania oraz osobno czasu siedzenia i wstawania. Dodatkowo analizuje ruchy tułowia, dając użytkownikom ocenę ich sprawności fizycznej porównywalną z oceną profesjonalnego terapeuty. Jee i wsp. (2025) z kolei porównali siłę nacisku stóp na podłogę z ruchami głowy podczas wykonywania testu 5xSTS w diagnostyce zespołu kruchości.

Cytowani badacze koncentrowali się głównie na określeniu skuteczności, wydajności oraz możliwości zastosowania skomputeryzowanych rozwiązań podczas realizowania testów funkcjonalnych. Zgodnie z obecną wiedzą autorów niniejszej pracy nie przeprowadzono, jak dotąd, pełnej analizy ruchu człowieka oceniającej siłę ekscentryczno-koncentryczną kończyn dolnych, tempo generowania mocy oraz zdolność do szybkiej zmiany pozycji, która mogłaby posłużyć jako podstawa do opisania standardowych wzorców ruchowych oraz poprawności biomechanicznej podczas wykonywania testu 5xSTS.

CEL BADAŃ

Celem badań było opracowanie wyników testu 5xSTS wykonanego u osoby bez niepełnosprawności i w dobrej kondycji fizycznej, tak aby ustalić zakres możliwości systemu analizy ruchu jako narzędzia diagnostycznego dla testu funkcjonalnego 5xSTS. Praktycznym wymiarem było opracowanie protokołu raportu wynikowego uwzględniającego model fazowy (czyli protokół automatycznej segmentacji cyklu wstawania-siadania, umożliwiającego dokonanie obiektywnego podziału pojedynczego powtórzenia testu Sit-to-Stand na logiczne fazy ruchu i stabilizacji) oraz zmienne kinematyczne i dynamiczne związane z przenoszeniem obciążenia na różne części stopy podczas zadania 5xSTS.

MATERIAŁ I METODY

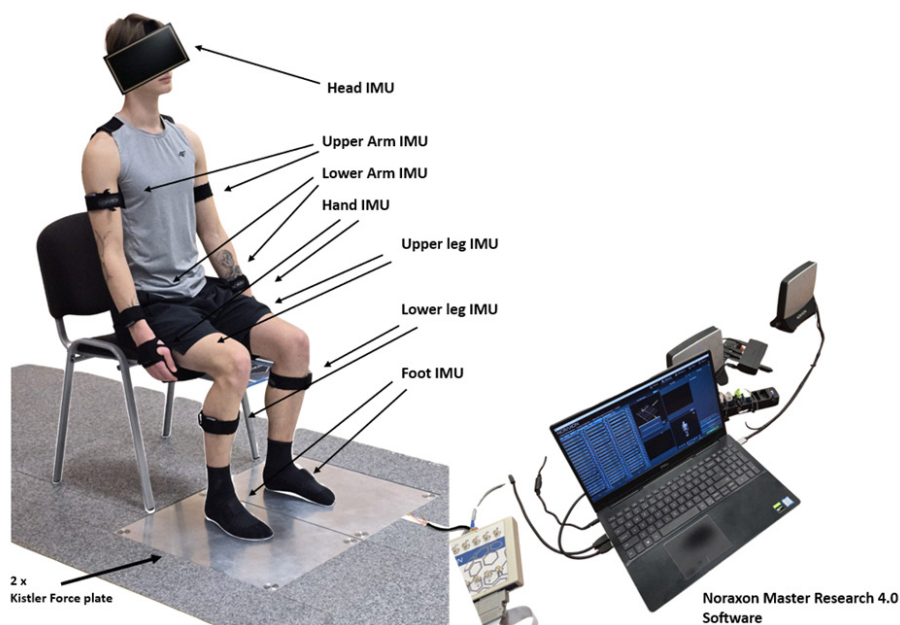
Wdrożone w niniejszych badaniach procedury przeprowadzono zgodnie z Deklaracją Helsińską. Badania uzyskały pozytywną opinię Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu (uchwała nt.16/2025 z dnia 11.06.2025).

Osoby badane

W projekcie badawczym uczestniczyła jedna kobieta w wieku 19 lat (wysokość ciała 176 cm, masa ciała 76 kg) bez stwierdzonych deficytów funkcjonalnych czy zdrowotnych. Przed rozpoczęciem badań została poinformowana o ich celu oraz możliwości wycofania się z nich na każdym etapie bez podania przyczyny. Badana wyraziła świadomą zgodę na udział w projekcie.

Stanowisko pomiarowe

Badania przeprowadzono w Pracowni Analiz Biomechanicznych (certyfikat jakości nr PN-EN ISO 9001:2009). Stanowisko pomiarowe (ryc. 1) składało się z krzesła biurowego (siedzisko na wysokości 46 cm), dwóch platform dynamograficznych Kistler 9286A (Kistler, Winterthur, Switzerland) o wymiarach 60 × 40 cm rejestrujących z częstotnością 1000 Hz oraz systemu analizy ruchu Noraxon Ultium Motion P-8708 wraz z oprogramowaniem Master Research 4.0 (Noraxon U.S.A. Inc., Scottsdale, AZ, USA). Zintegrowany system Noraxon składał się z: (1) szesnastu bezprzewodowych czujników inercyjnych IMU, (2) jednostki odbiorczej (receivera) połączonej z komputerem, (3) oprogramowania myoRESEARCH MR4 (Master Edition) oraz (4) akcesoriów montażowych (elastycznych pasków, pasów i uchwytów umożliwiających stabilne mocowanie czujników do segmentów ciała). System jest oparty na technologii inercyjnych jednostek pomiarowych (ang. *inertial measurement units*, IMU). Każdy z szesnastu bezprzewodowych czujników IMU zawiera trójosiowy akcelerometr, żyroskop oraz magnetometr, które umożliwiają rejestrację orientacji segmentów ciała w przestrzeni trójwymiarowej. Schemat rozmieszczenia czujników opiera się na zasadzie przypisania jednego sensora do każdego głównego segmentu anatomicznego, tak aby można było wyznaczyć względne ruchy



Rycina 1. Schemat stanowiska pomiarowego. Z prawej strony aparatura do rejestracji ruchu firmy Noraxon

pomiędzy sąsiadującymi segmentami oraz obliczyć anatomiczne kąty stawowe w trzech stopniach swobody. Ruchy kończyn górnych odwzorowywane są przez pary czujników założonych symetrycznie po obu stronach ciała: na ramionach (ang. *upper arm*), przedramionach (ang. *lower arm*) i części dłoniowej ręki (ang. *hand*). Takie rozmieszczenie umożliwia analizę ruchów stawów ramiennych i łokciowych, zarówno w płaszczyznach funkcjonalnych, jak i w ruchach złożonych. Kończyny dolne są reprezentowane w analogiczny sposób przez czujniki umieszczone na udach (ang. *upper leg*), podudziach (ang. *lower leg*) oraz stopach (ang. *foot*), dzięki czemu możliwa jest pełna analiza stawów biodrowych, kolanowych i skokowych, w tym ruchów cyklicznych i lokomocyjnych. Badania wykazują wysoką powtarzalność systemu ($ICC > 0.90$) i trafność pomiarów względem systemów optycznych (Ziagkas i wsp., 2021).

Procedura pomiarowa i obliczenia

Przed rozpoczęciem próby badaną poddano pomiarom antropometrycznym. Następnie zaپیto na jej tułowiu 16 sensorów: 1 na przedniej powierzchni klatki piersiowej na wysokości wyrostka mieczykowatego

mostka, 2 na wyrostkach kolczystych kręgów T4 i L3, oraz 13 w ułożeniu przedstawionym na rycinie 1. Sensory IMU były rozłożone zgodnie z protokołem rozmieszczenia sensorów Noraxon i możliwie blisko przybliżonych geometrycznych środków analizowanych segmentów ciała, co odpowiada ich przybliżonym środkom masy. Badana wykonała rozgrzewkę, a także kilka powtórzeń ćwiczenia, tak aby zaznajomić się z właściwym zadaniem ruchowym.

Badana miała usiąść na krześle bez podłokietników i oparcia: kończyny dolne ustawione tak, aby kąt zgięcia w stawach kolanowych oraz skokowych wynosił 90° , stopy oparte na podłożu, kończyny górne skrzyżowane na klatce piersiowej. Przed przystąpieniem do zadania otrzymała instrukcję jego wykonania: „Kiedy powiem «start», wstań i usiądź tak szybko, jak to możliwe, pięć razy z rzędu. Za każdym razem stój prosto i staraj się nie dotykać oparcia podczas siadania między powtórzeniami”. Badana pięciokrotnie wstawiała do pełnej pozycji stojącej z pełnym wyprostem bioder i kolan i wracała do siadu, tak aby uzyskać pełny kontakt pośladków z siedziskiem krzesła. Ruchy miała wykonywać jak najszybciej, ale w bezpieczny sposób.

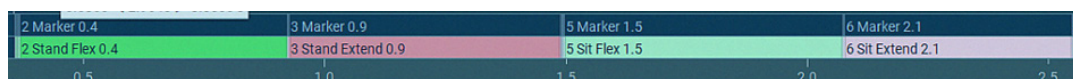
W ramach instrumentowanej wersji testu 5xSTS rejestrowano zestaw zmiennych czasowych, kinematycznych oraz dynamicznych z częstotliwością 200 Hz (całkowity „sampling rate” 2000 Hz), umożliwiających ilościową ocenę strategii ruchowej i zdolności funkcjonalnych badanej osoby. Były to następujące zmienne zależne:

1. Zmienne czasowe (charakteryzujące fazy zadania ruchowego):
 - czas trwania fazy wstawania i siadania oraz całkowity czas ruchu (5xSTS).
2. Zmienne kinematyczne:
 - zakres zgięcia i wyprostu w stawie biodrowym,
 - zakres zgięć bocznych (ang. *lateral bend*) oraz ruchów obrotowych (ang. *rotation*) tułowia.
3. Zmienne dynamiczne (GRF):
 - szczytowa wartość pionowej składowej GRF (F_z) przy wybiciu z pozycji siedzącej i przy lądowaniu w siadzie świadczące o sile nacisku stóp na podłoże,
 - szczytowe wartości obciążenia stóp w kierunku bocznym (F_y) oraz przednio-tylnym (F_x) świadczące o stabilności ciała podczas przenoszenia środka masy ciała do góry i do przodu,
 - asymetria osiowa udziału kończyn w generowaniu siły reakcji podłoża pomiędzy stroną prawą i lewą.

WYNIKI

Podział zadania ruchowego na fazy

Pierwszym wynikiem analizy zarejestrowanego materiału był protokół fazowy cyklu wstawanie–siadanie realizowany automatycznie w środowisku programistycznym Noraxon MR4. Jak przedstawiono na rycinie 2, każdy cykl jest dzielony na powtarzalne fazy ruchu i stabilizacji wyznaczone na podstawie przebiegu kąta oraz prędkości kątowej tułowia.



Rycina 2. Model fazowy pojedynczego cyklu wstawanie–siadanie (ang. *sit-to-stand*) w systemie Noraxon MR4 przedstawiający automatyczny podział na fazy: Stand Flex, Stand Extend, Stand Pause oraz Sit Flex, Sit Extend i Sit Pause, wyznaczany na podstawie kinematyki tułowia

Podział testu 5xSTS w protokole wynikowym obejmuje następujące momenty czasowe (ang. *instances*):

- Start – początek analizowanego fragmentu rejestracji; pozycja siedząca przed inicjacją wstawania:
 - Stand Flex – początek wstawania i pochylenie tułowia do przodu; faza generowania pędu i przeniesienia środka masy ciała na stopy.
 - Stand Extend – ruch w górę oraz powrót tułowia do pozycji pionowej po osiągnięciu maksymalnego pochylenia.
 - Stand Pause – krótka faza stabilizacji w pozycji stojącej (zwrot kierunku ruchu).
 - Sit Flex – początek siadania i kontrolowane pochylenie tułowia do przodu podczas obniżania środka masy ciała.
 - Sit Extend – powrót tułowia do stabilnego siadu po osiągnięciu maksymalnego zgięcia w fazie zejścia.
 - Sit Pause – krótka stabilizacja w pozycji siedzącej przed kolejnym cyklem.
- End – koniec analizowanego cyklu lub całego zadania.

Na ich podstawie wyznaczono następujące funkcjonalne fazy ruchu (ang. *intervals*) pomiędzy zdefiniowanymi momentami czasowymi:

I. Faza wstawania (ang. *standing phase*):

1. Faza przygotowawcza (ang. *pre stand-up*) pomiędzy Stand Flex a Stand Extend polegająca na zgięciu w stawie biodrowym i prze-

sunięciu środka masy ciała do przodu w celu przygotowania ciała do unoszenia.

2. Faza wstawiania właściwego (ang. *stand-up*) od Stand Extend do Stand Pause, w której dochodzi do koncentrycznej pracy mięśni i wyprostowania stawów biodrowych i kolanowych, utraty kontaktu z siedziskiem (ang. *seat-off*) oraz pionowego uniesienia środka masy ciała.

II. Faza siadania (ang. *sitting phase*):

3. Faza siadania właściwego (ang. *sit-down*) od Sit Flex do Sit Extend obejmująca kontrolowane obniżanie środka masy ciała w kierunku siedziska z dominującą ekscentryczną pracą mięśni kończyn dolnych oraz narastającym zgięciem w stawach biodrowych i kolanowych, prowadząca do uzyskania kontaktu z siedziskiem (ang. *seat-on*).
4. Faza końcowa (ang. *post sit-down*) od Sit Extend do Sit Pause polegająca na stabilizacji pozycji siedzącej oraz przywróceniu tułowia do pionowego ustawienia, stanowiąca zakończenie pojedynczego cyklu i przygotowanie do kolejnego powtórzenia.

Zastosowane nazewnictwo odzwierciedla funkcję biomechaniczną poszczególnych fragmentów cyklu i może być wykorzystane w opisie wyników oraz analizach porównawczych. Opracowany model fazowy umożliwił dokonanie precyzyjnej oceny czasu trwania i proporcji poszczególnych faz (tab. 1).

Analiza struktury czasowej testu 5xSTS osoby badanej wykazała, że faza siedząca była nieznacznie dłuższa (o 0,06 s) od fazy stojącej, co wskazuje na większy udział czasowy części związanej z kontrolowanym obniżaniem ciała i stabilizacją w siadzie w porównaniu z fazą wstawiania.

Tabela 1. Pomiar czasu trwania faz testu 5xSTS

Faza	Czas (s) $\bar{x} \pm SD$
<i>Standing phase</i>	1,06 $\pm$ 0,06
<i>pre stand-up</i>	0,48 $\pm$ 0,07
<i>stand-up</i>	0,58 $\pm$ 0,02
<i>Sitting phase</i>	1,12 $\pm$ 0,06
<i>sit-down</i>	0,56 $\pm$ 0,03
<i>post sit-down</i>	0,55 $\pm$ 0,08

Podczas wstawiania (ang. *standing phase*) dominującym elementem była faza wstawiania właściwego (ang. *stand-up*), która trwała mniej więcej 20% dłużej niż faza przygotowawcza (ang. *pre stand-up*). Oznacza to, że uniesienie środka masy ciała oraz wyprost w stawach biodrowych i kolanowych stanowiły największą część fazy stojącej, podczas gdy pochylanie tułowia i transfer środka masy ciała zajmowały relatywnie mniej czasu.

Podczas siadania (ang. *sitting phase*) czas trwania fazy siadania właściwego (ang. *sit-down*) i fazy końcowej po przyjęciu pozycji siedzącej (ang. *post sit-down*) okazał się porównywalny, co wskazuje na symetryczny podział na etap kontrolowanego obniżania środka masy ciała i następującą po nim stabilizację w pozycji siedzącej. W przeciwieństwie do fazy wstawiania, nie obserwowano wyraźnej dominacji jednej z podfaz czasowych.

Zmienne kinematyczne

W trakcie przebiegu każdej fazy zmierzona została prędkość kątowa ruchów tułowia badanej w płaszczyźnie strzałkowej (tab. 2).

Analizując wyniki, zauważono szczególnie wysokie odchylenia dla fazy przygotowawczej (*pre stand-up*). Oznacza to, że choć czas wykonywania czynności był powtarzalny, generowana prędkość mocno zmieniała się podczas każdego powtórzenia. Ponadto maksymalne prędkości kątowe w fazie *stand-up* okazały się niższe od pozostałych, co może świadczyć o ostrożności, z jaką uczestniczka projektu prostowała tułów.

Dynamika, z jaką badana siadała była istotnie większa niż ta, z jaką wstawiała, co zostało ocenione jako osłabienie kontroli nad wykonywanym ruchem, co i mogło współgrać z niejednorodnym zaangażowaniem mięśni w trakcie podfaz siadania. Bardzo duża prędkość (84,0 °/s) może sugerować, że badana „nie panuje nad ruchem”, przedwcześnie rozluźnia mięśnie, przez co bezwiednie opada na krzesło.

Kolejnym etapem analizy było ustalenie zakresów ruchu w wybranych stawach badanej (ryc. 2, 3, tab. 3). W odniesieniu do zakresu ruchomości odcinka piersiowego i lędźwiowego kręgosłupa (ryc. 2) wykazano dużą stabilność podczas wszystkich podfaz jednego powtórzenia testu 5xSTS, a także w trakcie wykonywania kolejnych powtórzeń. Nie zaobserwowano znaczących asymetrii ruchu w żadnej z płaszczyzn.

Zakres ruchów tułowia został ujęty w trzech głównych parametrach: zgięcia w stawach biodrowych (ang. *hip flexion*) oraz zgięcia boczne (ang. *trunk lateral bend*) i rotacji tułowia (ang. *trunk rotation*) (tab. 3). W fazie

Tabela 2. Pomiar prędkości kątowej ruchów tułowia badanej wykonywanych podczas testu 5xSTS

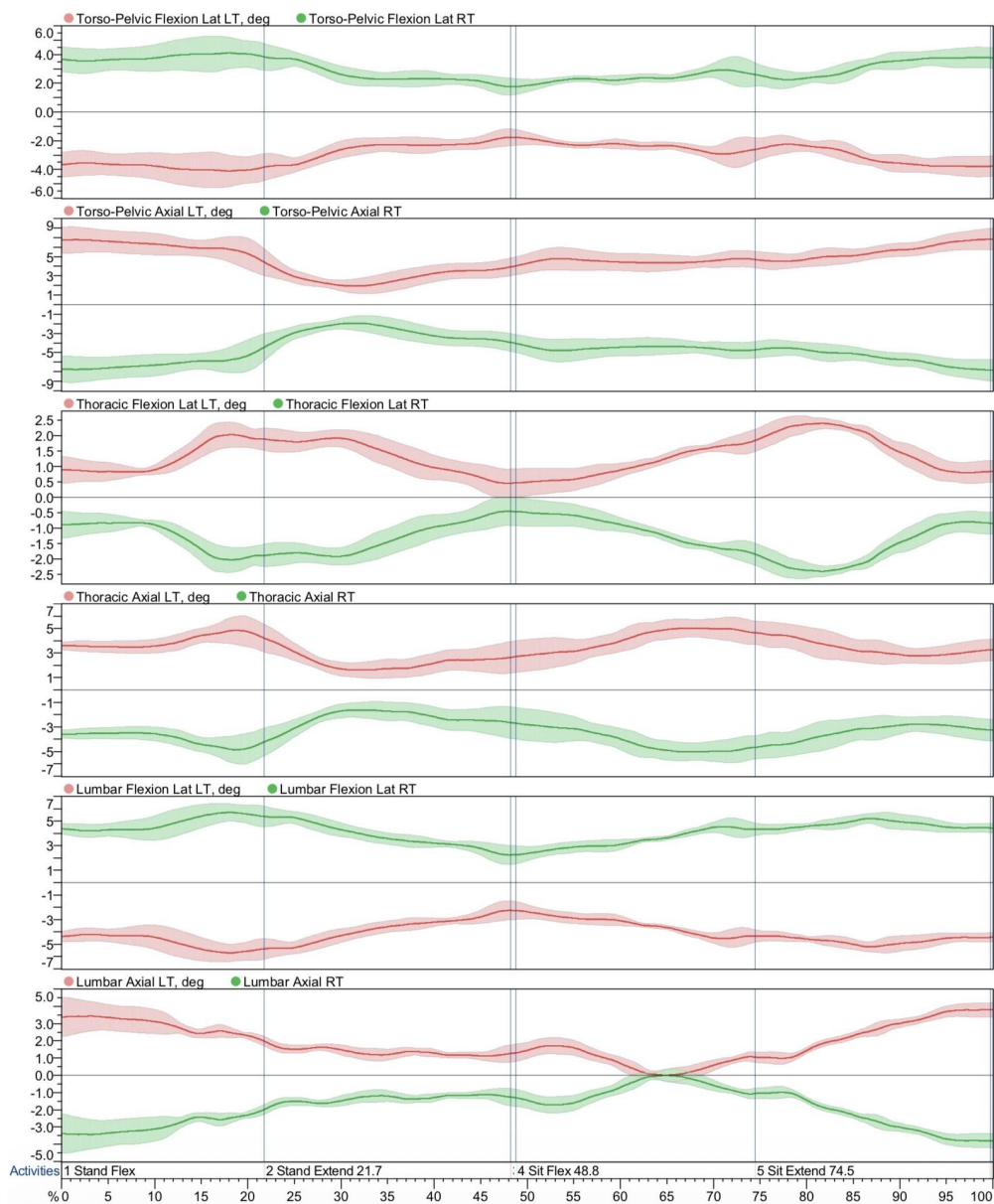
Faza	Średnia prędkość kątowa (°/s) ($\bar{x} \pm SD$)	Maksymalna prędkość kątowa (°/s) ($\bar{x} \pm SD$)
<i>Standing phase</i>		
<i>pre stand-up</i>	38,3 ± 11,5	80,2 ± 26,2
<i>stand-up</i>	39,9 ± 7,3	58,6 ± 9,3
<i>Sitting phase</i>		
<i>sit-down</i>	47,2 ± 8,4	84,0 ± 6,9
<i>post sit-down</i>	42,5 ± 7,8	82,1 ± 16,8

Tabela 3. Pomiar zakresów ruchu stawu biodrowego i przemieszczenia tułowia badanej podczas testu 5xSTS

Nazwa ruchu	Kąt (°) $\bar{x} \pm SD$
<i>Standing phase</i>	
<i>hip flexion</i>	23,4 ± 3,6
<i>trunk lateral bend</i>	2,0 ± 1,0
<i>trunk rotation</i>	2,9 ± 1,0
<i>Sitting phase</i>	
<i>hip flexion</i>	26,9 ± 4,4
<i>trunk lateral bend</i>	8,2 ± 5,5
<i>trunk rotation</i>	18,2 ± 12,3

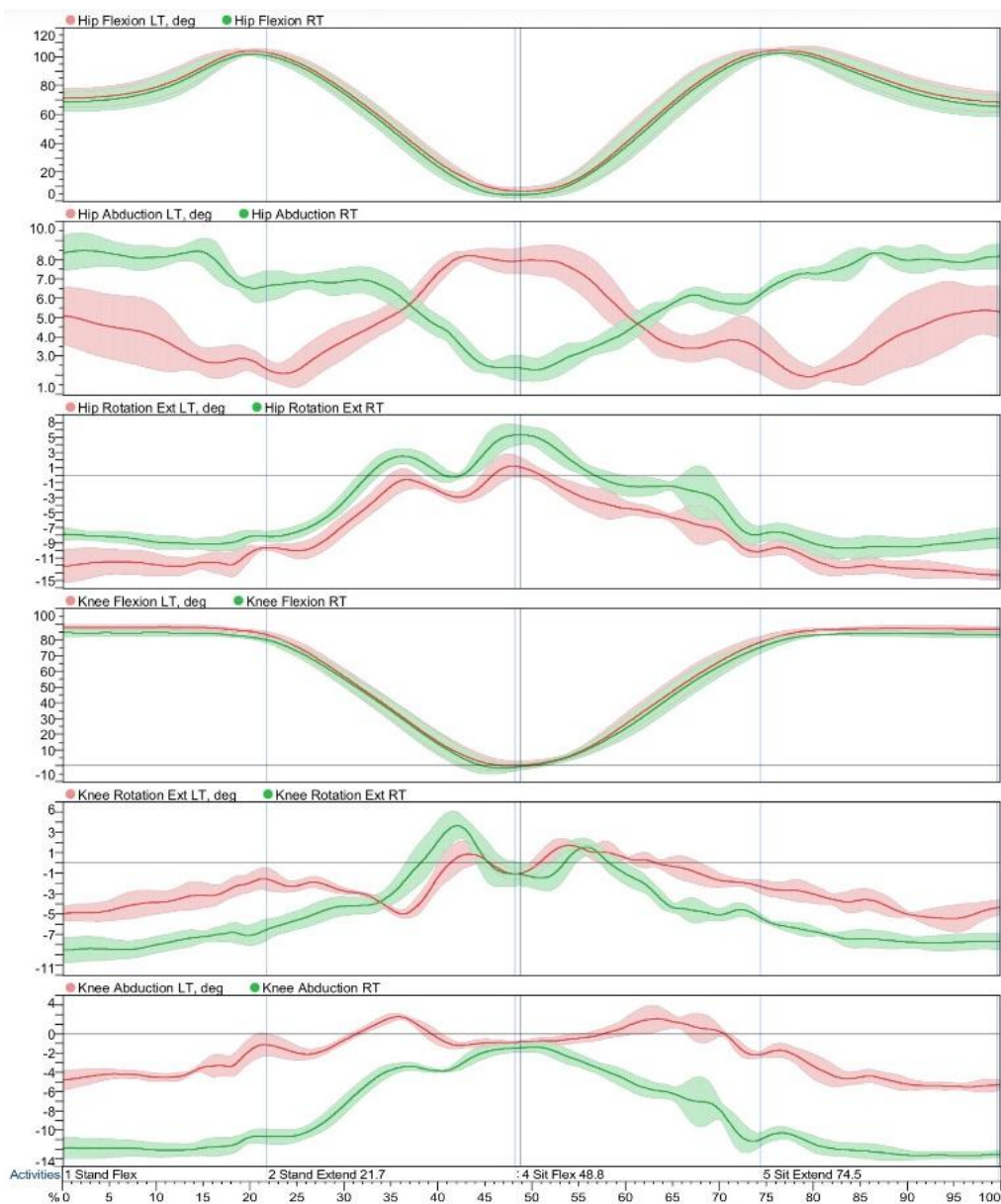
wstawiania ruchy tułowia w płaszczyźnie czołowej i poprzecznej były niewielkie, co jest uznawane za poprawne i wskazuje na dużą pewność, z jaką osoba badana wstawiała. W fazie siadania zaobserwowano wyraźne rotacje, które potwierdzają obecność zaburzeń kontroli mięśni u badanej.

Dokładniejszy rozkład zmiany kątów w stawie biodrowym i kolanowym w funkcji czasu (ryc. 3) ukazuje różnice w ruchomości kończyn dolnych. Ruchy w płaszczyźnie strzałkowej zostały wykonane poprawnie. Natomiast w stawach biodrowych zauważono zwiększoną rotację ze-



Rycina 2. Pomiar zakresu ruchu kręgosłupa badanej w funkcji czasu dla cyklu zadania 5xSTS w osi x , y , z wyrażonego w stopniach.

Kolor czerwony oznacza lewą stronę (LT),
kolor zielony – prawą stronę (RT)



Rycina 3. Pomiar zakresu ruchu badanej w stawach biodrowych i kolanowych w funkcji czasu dla cyklu zadania 5xSTS w osi x, y, z wyrażonego w stopniach. Kolor czerwony oznacza lewą stronę (LT), kolor zielony – prawą stronę (RT)

wnętrzną prawej kończyny względem kończyny lewej, która to rotacja utrzymywała się podczas kolejnych powtórzeń wstawania i siadania. Wskazane asymetrie wskazują na zaburzenia kontroli motorycznej i stabilności miednicy. Podobną tendencję zaobserwowano w stawach kolanowych: wyniki uzyskane dla prawej kończyny osiągały wyższe amplitudy ruchu w porównaniu z kończyną lewą, co uznano za kompensacyjną strategię ruchową.

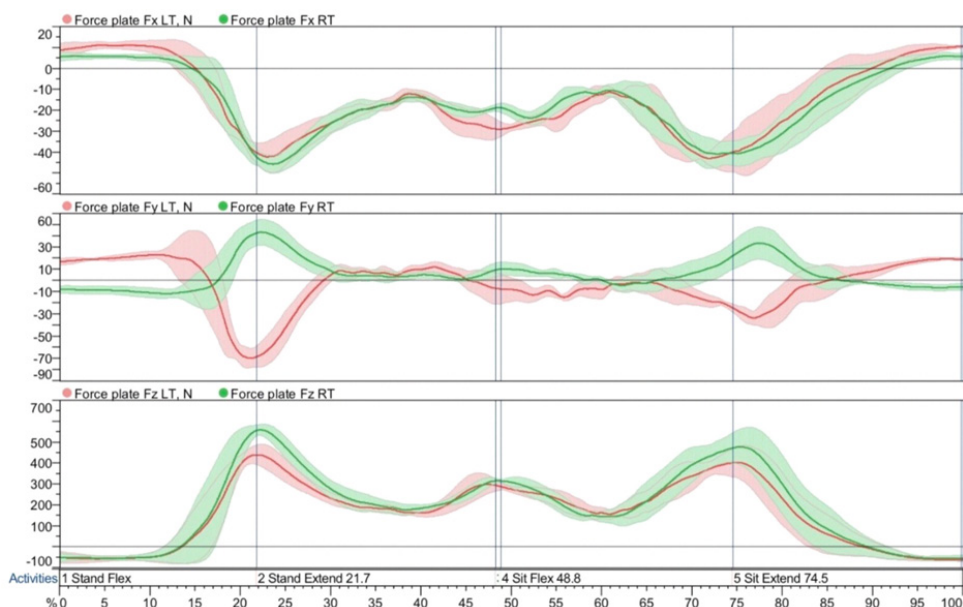
Zmienne charakteryzujące siły reakcji podłoża

Zastosowanie platform dynamograficznych pozwoliło na prześledzenie przebiegu trzech głównych komponentów siły reakcji podłoża (GRF) związanych z obciążeniem stóp. Analiza przebiegów składowych siły reakcji podłoża (ryc. 4) ujawniła charakterystyczny, dwuszczytowy wzorec zmian sił w cyklu wstawanie–siadanie z wyraźnym zróżnicowaniem pomiędzy fazą unoszenia a fazą obniżania środka masy ciała.

Składowa przednio-tylna (F_x) wykazywała wyraźne ujemne odchylenia w fazie inicjacji wstawania, co odpowiada generowaniu siły skierowanej ku tyłowi w celu przesunięcia środka masy ciała nad stopy. W fazie pionowego unoszenia następowało zmniejszenie wartości bezwzględnych F_x , a podczas siadania obserwowano ponowne zwiększenie siły hamującej związanej z kontrolowanym obniżaniem ciała. Przebiegi po stronie lewej (LT) i prawej (RT) były zasadniczo zbliżone, choć między 40% a 50% aktywności zauważono niewielkie różnice amplitudy sugerujące subtelna asymetrię obciążenia kończyn dolnych.

Składowa boczna (F_y) charakteryzowała się większą zmiennością między stronami, zwłaszcza w początkowej fazie wstawania oraz podczas siadania. Widoczne były naprzemienne odchylenia dodatnie i ujemne, co odzwierciedlało dynamiczne przesunięcia środka masy ciała w płaszczyźnie czołowej i korekcyjne strategie stabilizacyjne. W niektórych momentach amplituda F_y stawała się wyraźnie większa po jednej stronie, co może wskazywać na asymetryczne zaangażowanie kończyn dolnych w generowanie siły lub stabilizację posturalną.

Analiza składowej pionowej (F_z) siły reakcji podłoża wykazała, że mocny nacisk na podłoże ma miejsce podczas fazy I (*pre stand-up*), co jest zrozumiałe, ponieważ w tym czasie kończyny dolne dźwigają ciało podnoszące się z krzesła, oraz w fazie II (*sit-down*), kiedy następuje zgięcie w stawach biodrowych i stawach kolanowych. Co więcej, odnotowano wyraźną do-



Rycina 4. Pomiar składowych siły reakcji podłoża (GRF) w funkcji czasu dla cyklu testu 5xSTS w osi x , y , z wyrażonej w niutonach. Kolor czerwony oznacza lewą stronę (LT), kolor zielony – prawą stronę (RT)

minację prawej nogi nad lewą podczas całego cyklu z wyjątkiem początkowego fragmentu fazy *sit-down*.

Niestabilny przebieg krzywych GRF (wysokie odchylenie standardowe) potwierdza brak powtarzalnego wzorca ruchowego u badanej. Linie z wykresów w osi x i y są mocno poszarpane, nieregularne (wysokie SD). Informują o dużych ruchach w obrębie stawów skokowych oraz stawów stóp, których celem jest utrzymanie równowagi przez cały czas trwania testu.

Ponadto uzyskane przebiegi siły reakcji podłoża wykazują typowy, dwuszczytowy charakter składowej pionowej (F_z) odpowiadający fazie wstawania oraz fazie siadania. Pierwszy wyraźny szczyt F_z , obserwowany w fazie wstawania właściwego, odzwierciedla moment odciążenia siedziska (*seat-off*) i intensywne generowanie koncentrycznej siły przez mięśnie prostowniki stawu biodrowego i kolanowego. Drugi szczyt, związany z fazą siadania, odpowiada przyjęciu ciężaru ciała i ekscentrycznej kontroli obniżania środka masy ciała.

DYSKUSJA

Przeprowadzenie badań dotyczących zastosowania instrumentalnej wersji testu 5xSTS z wykorzystaniem sensorów IMU, platform dynamograficznych i systemu Noraxon pozwoliło na analizę generowanych prędkości kątowych w poszczególnych stawach. Dokonano też pomiaru zakresów ruchu poszczególnych części ciała oraz siły reakcji podłoża w trakcie wykonywania próby 5xSTS. Otrzymane wyniki odznaczają się wysoką dokładnością umożliwiającą precyzyjny opis wzorca ruchowego osoby badanej.

Zastosowanie automatycznego protokołu podziału cyklu *sit-to-stand* na fazy funkcjonalne umożliwia pozyskanie istotnych klinicznie informacji, które wykraczają poza tradycyjny pomiar całkowitego czasu testu 5xSTS. Uzyskane wyniki pozwalają na jakościowo-ilościową ocenę sposobu realizacji zadania, a nie wyłącznie jego sumarycznego tempa. Do podobnych wniosków doszli już Mantri i wsp. (2024), którzy zbadali czas trwania poszczególnych faz za pomocą nagrania z telefonu.

Na podstawie analizy czasowej (tab. 1) wykazano, że faza wstawania charakteryzowała się większym zróżnicowaniem w zakresie struktury czasowej niż faza siadania, z wyraźną dominacją fazy wstawania właściwego nad fazą przygotowawczą. Zaletą zaproponowanego podejścia pomiarowego jest możliwość identyfikowania specyficznej fazy ograniczającej wykonanie testu, co umożliwia bardziej precyzyjną interpretację wyniku klinicznego. Dla klinicystów oznacza to narzędzie wspierające decyzje diagnostyczne i terapeutyczne pozwalające odróżnić osoby, które wykonują test „wolno”, od tych, które realizują go w sposób biomechanicznie nieefektywny lub kompensacyjny. W kontekście monitorowania postępów rehabilitacji analiza fazowa umożliwia śledzenie zmian nie tylko w całkowitym czasie testu, lecz także w strukturze czasowej poszczególnych faz. Może to zwiększać czułość oceny efektów interwencji ukierunkowanych na siłę kończyn dolnych, kontrolę tułowia lub stabilność posturalną.

Niepodlegający analizie w tradycyjnej wersji testu 5xSTS pomiar prędkości kątowej umożliwia obserwację dysproporcji w kontrolowaniu mięśni w poszczególnych podfazach cyklu, co może poszerzyć informacje na temat stanu pacjenta o dane istotne w kontekście zaburzeń równowagi, które są wskazaniem do wykonania testu. Opierając się na obiektywnych wynikach programu analizy ruchu, można zredukować margines błędu w ocenie wynikający z ograniczeń tradycyjnej wersji testu (Lummel i wsp., 2016).

Użycie sensorów IMU pozwoliło na pomiar zakresów ruchu tułowia osoby badanej w trzech płaszczyznach (tab. 2, ryc. 2). Po przeanalizowaniu wyników zaobserwowano rotację obręczy miedniczej w płaszczyźnie poprzecznej o wysokiej zmienności względem kolejnych powtórzeń (wysokie *SD*). Znając wartości poszczególnych parametrów, można poszukiwać związków przyczynowo-skutkowych w biomechanicznym ujęciu poprawności wykonywania testów funkcjonalnych. U osoby badanej takim związkiem jest pochylenie i skręt miednicy pociągający za sobą większą rotację w stawach biodrowych i kolanowych prawej kończyny dolnej (ryc. 3) i wpływający na silniejsze obciążenie prawej stopy podczas siadania (ryc. 4). Mając wiedzę, że temu ruchowi towarzyszyła wysoka prędkość kątowa zgięcia tułowia (tab. 2), można wnioskować o ograniczonej stabilizacji ciała, co spowodowało jego opadnięcie na krzesło z dużym impetem.

Analiza maksymalnych i minimalnych wartości GRF oraz ich asymetrii dostarcza informacji wykraczających poza globalny czas wykonania testu. Pozwala ona na identyfikację dominującej kończyny podporowej, wykrycie subtelnych deficytów siłowych oraz ocenę strategii kompensacyjnych w płaszczyźnie strzałkowej i czołowej. Pojawiły się już prace (Jee i wsp., 2025) wykorzystujące wyniki GRF w diagnostyce zespołu kruchości u osób starszych, co wskazuje na realne korzyści z wykorzystania wyżej opisanych urządzeń. Tym samym instrumentowana analiza GRF zwiększa czułość diagnostyczną testu i wspiera bardziej ukierunkowane planowanie interwencji terapeutycznych.

OGRANICZENIA

Istotnym ograniczeniem badań była analiza raportu danych tylko jednej osoby badanej, co uniemożliwia generalizowanie wyników na większą populację. Niezbędne jest przeprowadzenie badań opisujących pomiary za pomocą pozostałych sensorów IMU, np. wykorzystując inny test funkcjonalny jako podstawę analizy. W kolejnych projektach badawczych należy skupić się również na opracowaniu ustandaryzowanych norm każdego parametru zarówno dla osób zdrowych, jak i cierpiących z powodu różnych dolegliwości.

WNIOSKI

1. Instrumentowana analiza 5xSTS, łącząca podział fazowy z rejestracją sił reakcji podłoża, stanowi narzędzie umożliwiające jakościową i ilościową ocenę wzorca ruchowego, co zwiększa czułość diagnostyczną testu.
2. Faza wstawania (*stand-up*) stanowi kluczowy etap testu STS i wydaje się najbardziej wrażliwa na ograniczenia generowania siły oraz kontroli ruchu, co czyni ją istotnym wskaźnikiem deficytów funkcjonalnych w zakresie rozwijanych sił koncentrycznych w stawach kolanowych i biodrowych.
3. Zaburzenia dotyczące wzorca ruchowego podczas siadania objawiają się zwiększeniem prędkości wykonywania tego ruchu oraz patologiczną rotacją tułowia w płaszczyźnie poprzecznej.
4. Analiza składowej pionowej siły reakcji podłoża ujawniła dwuszczytowy wzorec obciążenia, który pozwala odróżnić etap generowania siły (koncentryczny/ekscentryczny). Przebieg składowej bocznej sugeruje obecność strategii kompensacyjnych w płaszczyźnie czołowej, które nie są uchwytne w tradycyjnej ocenie testu STS.
5. Zastosowane w niniejszych badaniach narzędzia mają olbrzymi potencjał diagnostyczny. Ich powszechne wykorzystanie z pewnością ułatwi procesy podejmowania decyzji dotyczących diagnozy i leczenia, a także umożliwi pełniejsze monitorowanie terapii pacjentów.

DOFINANSOWANIE

Badanie dofinansowano ze środków Ministra Nauki w ramach planu „Inicjatywa Doskonałości Ewolucja Akademii (IDEA)” programu „Regionalna Inicjatywa Doskonałości”. Nr umowy RID/SP/0051/2024/01.

BIBLIOGRAFIA

- Atrsaei, A., Paraschiv-Ionescu, A., Krief, H., Henchoz, Y., Santos-Eggimann, B., Büla, C., Aminian, K. (2022). Instrumented 5-time sit-to-stand test: parameters predicting serious falls beyond the duration of the test. *Gerontology*, 68(5), 587–600, <https://doi.org/10.1159/000518389>.
- Baltasar-Fernandez, I., Alcazar, J., Losa-Reyna, J., Soto-Paniagua, H., Alegre, L.M., Takai, Y., Ruiz-Cárdenas, J.D., Signorile, J.F., Rodriguez-Mañas, L., García-García, F.J., Ara, I. (2021). Comparison of available equations to estimate

- sit-to-stand muscle power and their association with gait speed and frailty in older people: Practical applications for the 5-rep sit-to-stand test. *Experimental Gerontology*, 156, <https://doi.org/10.1016/j.exger.2021.111619>.
- Cruz-Jentoft, A.J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A.A., Schneider, S.M., Sieber, C.C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M.; Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWG-SOP2), and the Extended Group for EWG-SOP2 (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(4), 16–31, <https://doi.org/10.1093/ageing/afz046>.
- Duncan, R.P., Leddy, A.L., Earhart, G.M. (2011). Five times sit-to-stand test performance in Parkinson's disease. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(9), 1431–1436, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.04.008>.
- Glenn, J.M., Gray, M., Binns, A. (2017). Relationship of sit-to-stand lower-body power with functional fitness measures among older adults with and without sarcopenia. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 40(1), 42–50, <https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000072>.
- Jee, S., Jang, C.W., Park, K., Shin, S., Paek, M.-C., Park, J.H. (2025). Validation of devices for the five times sit to stand test: comparing plantar pressure and head motion analysis with manual measurement. *Yonsei Medical Journal*, 66(1), 51, <https://doi.org/10.3349/ymj.2023.0525>.
- Jung, H.-W., Yoon, S., Baek, J.Y., Lee, E., Jang, I.-Y., Roh, H. (2021). Comparison of human interpretation and a rule-based algorithm for instrumented sit-to-stand test. *Annals of Geriatric Medicine and Research*, 25(2), 86–92, <https://doi.org/10.4235/agmr.21.0034>.
- Lummel, van R.C., Walgaard, S., Maier, A.B., Ainsworth, E., Beek, P.J., van Dieën, J.H. (2016). The Instrumented Sit-to-Stand Test (iSTS) has greater clinical relevance than the manually recorded sit-to-stand test in older adults. *PLOS ONE*, 11(7), e0157968, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157968>.
- Mantri, P., Mehta, A., Kanchan, K., Holalad, H. (2024). Smartphone IMU integration: precision boost for Sit-To-Stand Test with the equilibrium mobile application. *International Journal of Health Sciences and Research*, 14(3), 284–294, <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20240341>.
- Medina-Mirapeix, F., Vivo-Fernández, I., López-Cañizares, J., García-Vidal, J.A., Benítez-Martínez, J.C., del Baño-Aledo, M.E. (2018). Five times sit-to-stand test in subjects with total knee replacement: reliability and relationship with functional mobility tests. *Gait and Posture*, 59, 258–260, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.10.028>.
- Patrick, C.M., Bast, I.E., Scarsbrook, M.W., Swanson, C.W., Fling, B.W., Johnson, K.A. (2025). Power production during the five times sit to stand test in people with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 101, 106582, <https://doi.org/10.1016/j.msard.2025.106582>.
- Reiman, M.P., Manske, R.C. (2009). *Functional Testing in Human Performance*. Champaign: Human Kinetics.

- Staartjes, V.E., Schröder, M.L. (2018). The five-repetition sit-to-stand test: evaluation of a simple and objective tool for the assessment of degenerative pathologies of the lumbar spine. *Journal of Neurosurgery: Spine*, 29(4), 380–387, <https://doi.org/10.3171/2018.2.SPINE171416>.
- Ziagkas, E., Loukovitis, A., Zekakos, D.X., Chau, T.D., Petrelis, A., Grouios, G. (2021). A novel tool for gait analysis: validation study of the smart insole PODOSmart®. *Sensors*, 21(17), 5972, <https://doi.org/10.3390/s21175972>.

ABSTRACT

Biomechanical analysis of the 5xSTS test using IMU sensors and ground reaction force platforms: a pilot study

Introduction. This study was designed to develop a reporting framework for an instrumented version of the 5x Sit-to-Stand test (5xSTS), including a phase model, and kinematic and dynamic parameters, based on data obtained from a motion analysis system. **Material.** The study involved one healthy adult participant. **Methods.** A 16-sensor IMU system and two force platforms were used to record the components of ground reaction forces (GRF). An automated temporal protocol for the sit-to-stand cycle was developed, based on trunk angle and angular velocity. Parametric analysis included phase durations, ranges of motion of the hip joint and trunk, angular velocities, and the maximum and minimum values of GRF components, along with evaluation of left-right asymmetry. **Results.** The proposed phase model made it possible to identify the following phases: pre-stand-up, stand-up, sit-down and post-sit-down. The stand-up phase was the predominant element within the standing segment of the cycle. In the sit-down phase, increased trunk movement dynamics and greater rotation in the transverse plane were noted. GRF analysis demonstrated a characteristic double-peaked vertical force profile, along with asymmetrical loading of the lower limbs, with a predominance of the right side throughout most of the cycle. The anterior-posterior and lateral components indicated the presence of compensatory strategies in the sagittal and frontal planes. **Conclusions.** An instrumented 5xSTS analysis allows for an objective, phase-specific evaluation of task performance, providing insights not available in the traditional version of the test. Combining kinematic and dynamic data increases the test's diagnostic sensitivity and its applicability in detecting load asymmetries and tracking rehabilitation progress.

Keywords: sit-to-stand test, physical activity, postural balance, ground reaction force platforms, inertial measurement units

NIKOL MIESZAŁA, AGNIESZKA PISULA-LEWANDOWSKA

Akademia Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków
we Wrocławiu

ZNAJOMOŚĆ I WYKORZYSTANIE TECHNIK FIZJOTERAPEUTYCZNYCH ORAZ AUTOMASAŻU W REGENERACJI POTRENINGOWEJ U ZAWODOWYCH PIŁKARZY

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena poziomu wiedzy oraz zakresu wykorzystywania technik fizjoterapeutycznych i automasażu w procesie regeneracji potreningowej u zawodowych piłkarzy występujących co najmniej na poziomie II ligi. **Materiał.** Badaniami objęto 70 zawodników w wieku 18–34 lat. **Metody.** Posłużono się autorskim kwestionariuszem ankiety w formie elektronicznej obejmującym pytania dotyczące częstotliwości stosowania metod regeneracyjnych, oceny ich skuteczności oraz czynników wpływających na wybór określonych technik. Analizę statystyczną przeprowadzono za pomocą testu *U* Manna–Whitneya, testu chi-kwadrat oraz współczynnika korelacji Spearmana ($\alpha = 0,05$). **Wyniki.** Najczęściej stosowanymi metodami regeneracyjnymi okazały się: masaż sportowy, presoterapia, krioterapia miejscowa (w tym system typu Game Ready) oraz automasaż z użyciem rollera i pistoletu perkusyjnego. Wysoko oceniano także skuteczność sauny, kąpeli w zimnej wodzie oraz zajęć na basenie jako uzupełniających form odnowy biologicznej. Wykazano istotną zależność między odpowiedziami wskazującymi na korzystanie z presoterapii a wyższą samooceną wiedzy na temat regeneracji ($p < 0,05$), a także umiarkowaną dodatnią korelację między odpowiedziami potwierdzającymi korzystanie z usług fizjoterapeuty poza klubem a liczbą wdrażanych metod regeneracyjnych. **Wniośki.** Zawodowi piłkarze wykazywali dużą świadomość znaczenia regeneracji w procesie treningowym, jednak dostęp do zaawansowanych technologii wspomagających odnowę biologiczną pozostaje zróżnicowany w zależności od poziomu rozgrywek i zaplecza organizacyjnego klubu. **Słowa kluczowe:** regeneracja potreningowa, fizjoterapia sportowa, automasaż, piłka nożna, presoterapia, krioterapia

WPROWADZENIE

Współczesna piłka nożna należy do najbardziej wymagających dyscyplin sportowych pod względem obciążeń fizycznych i intensywności wysiłku. Charakter gry obejmuje powtarzalne sprinty, dynamiczne zmiany kierunku ruchu, wysoki, kontakt fizyczny oraz wysiłek interwałowy o zmiennej intensywności, a to prowadzi do znacznych obciążeń układu

mięśniowo-szkieletowego i nerwowego. W trakcie sezonu zawodnicy rozgrywają nawet kilkadziesiąt meczów, równolegle realizując kilka jednostek treningowych tygodniowo, co zwiększa ryzyko przeciążeń i mikrourazów (Nédélec i wsp., 2013; Nobari i wsp., 2023). Regeneracja powysiłkowa stanowi obecnie integralny element procesu treningowego i jest traktowana jako warunek utrzymania wysokiej dyspozycji sportowej. Jej celem jest przywrócenie homeostazy organizmu, ograniczenie skutków zmęczenia oraz redukcja ryzyka kontuzji (Kellmann i Beckmann, 2018). Niewystarczająca regeneracja może prowadzić do kumulacji zmęczenia, zaburzeń hormonalnych oraz zwiększonej podatności na urazy przeciążeniowe (Meeusen i wsp., 2013). W praktyce sportowej stosuje się zarówno klasyczne metody regeneracyjne, takie jak masaż sportowy, stretching czy kąpiele w zimnej wodzie, jak i nowoczesne techniki fizjoterapeutyczne, w tym presoterapię (metodę fizykalną polegającą na zastosowaniu przerywanego ucisku pneumatycznego, który wspomaga krążenie żyłne i limfatyczne oraz procesy regeneracyjne organizmu), krioterapię miejscową, suche igłowanie (technikę fizjoterapeutyczną polegającą na wprowadzaniu cienkich igieł w punkty spustowe mięśni w celu zmniejszenia bólu i poprawy funkcji mięśni) czy terapię falą uderzeniową. Liczne przeglądy systematyczne wskazują na korzystny wpływ masażu sportowego i automasażu na redukcję bólu mięśniowego oraz poprawę zakresu ruchu (Davis i wsp., 2020; Wilke i wsp., 2020). Z kolei krioterapia i zanurzanie w zimnej wodzie może ograniczać opóźnioną bolesność mięśniową (ang. *delayed onset muscle soreness*, DOMS) oraz przyspieszać powrót do sprawności po intensywnym wysiłku (Bieuzen i wsp., 2013; Xiao i wsp., 2023). Presoterapia oraz systemy łączące chłodzenie z kompresją, takie jak Game Ready, są coraz częściej wykorzystywane w sporcie zawodowym jako element wspomagający regenerację i redukcję obrzęków (Dupuy i wsp., 2018; Trybulski i wsp., 2025). Pomimo rosnącej liczby badań dotyczących skuteczności różnych metod odnowy biologicznej w literaturze przedmiotu nadal stosunkowo rzadko podejmuje się problematykę związaną z subiektywną oceną skuteczności technik regeneracyjnych oraz rzeczywistymi wzorcami ich stosowania w środowisku klubowym. Szczególnie istotne wydaje się określenie, w jakim stopniu zawodowi piłkarze wykorzystują dostępne metody regeneracyjne, jakie techniki uznają za najbardziej efektywne oraz jak oceniają swoją wiedzę w tym zakresie. Analiza tych zagadnień może mieć znaczenie praktyczne dla fizjoterapeutów, trenerów przygotowania motorycznego oraz kadry medycznej klubów sportowych i umożliwić im lepsze dopasowanie strategii regeneracyjnych do potrzeb zawodników.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena poziomu wiedzy zawodowych piłkarzy na temat technik fizjoterapeutycznych i automasażu oraz zakresu ich wykorzystywania w procesie regeneracji potreningowej.

Dodatkowo podjęto próbę:

- określenia najczęściej stosowanych metod regeneracyjnych,
- oceny skuteczności wybranych technik,
- analizy czynników wpływających na wybór metod regeneracji,
- oceny poziomu świadomości zawodników w zakresie znaczenia regeneracji w prewencji urazów i utrzymaniu dyspozycji sportowej.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

Badaniem objęto 70 zawodowych piłkarzy, którzy w dniu wypełniania ankiety występowali w rozgrywkach na poziomie co najmniej II ligi. Część badanych miała doświadczenie gry na wyższych poziomach, w tym w I lidze oraz Ekstraklasie. Wiek respondentów mieścił się w przedziale 18–34 lata (średnia wieku 23,2 roku). Staż sportowy obejmował okres od kilku do kilkunastu lat; wielu zawodników rozpoczęło treningi piłkarskie w wieku juniorskim.

Dobór próby miał charakter celowy. Do badania zostali włączeni wyłącznie zawodowi piłkarze, aktywni sportowo, systematycznie trenujący oraz uczestniczący w rozgrywkach ligowych, dla których zagadnienia regeneracji potreningowej mają istotne znaczenie ze względu na specyfikę dyscypliny, duże obciążenia treningowe oraz ogromne ryzyko kontuzji.

Ankietowani reprezentowali różne pozycje piłkarskie. W badanej grupie znaleźli się pomocnicy ($n = 32$), obrońcy ($n = 21$), napastnicy ($n = 10$) i bramkarze ($n = 7$).

Metody

Do realizacji projektu badawczego wykorzystano autorski kwestionariusz ankiety służący do oceny poziomu wiedzy zawodników na temat regeneracji oraz określenia stosowanych metod fizjoterapeutycznych i technik automasażu. Ankieta została przeprowadzona w formie elektronicznej

z wykorzystaniem platformy Survio umożliwiającej standaryzację zbierania danych i zapewniającej anonimowość respondentów.

Kwestionariusz składał się z 30 pytań o charakterze zamkniętym obejmujących:

- pytania jednokrotnego wyboru,
- pytania wielokrotnego wyboru,
- pytania oparte na skali Likerta (1–5) służące do subiektywnej oceny skuteczności metod regeneracyjnych,
- pytania metryczkowe (wiek, staż sportowy, pozycja na boisku, poziom rozgrywek).

Pytania dotyczyły:

- częstotliwości stosowania poszczególnych metod regeneracyjnych,
- subiektywnej oceny ich skuteczności,
- korzystania z automasażu (m.in. rollera, pistoletu perkusyjnego, piłki do masażu),
- dostępności zabiegów w klubach sportowych i poza nimi,
- poziomu świadomości wpływu regeneracji na wydolność oraz prewencję urazów.

Kwestionariusz został opracowany na podstawie przeglądu aktualnej literatury z zakresu medycyny sportowej oraz doświadczenia zawodowego w pracy fizjoterapeutycznej w środowisku piłkarskim. Średni czas potrzebny na wypełnienie ankiety wynosił 10–12 min.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu Statistica PL ver. 13.3. Przyjęto poziom istotności statystycznej $\alpha = 0,05$. Zmienne ilościowe opisano za pomocą średniej arytmetycznej ($\bar{x}$) oraz odchylenia standardowego (SD). Określono także wartości minimalne i maksymalne. Zmienne jakościowe przedstawiono jako liczebności oraz wartości procentowe.

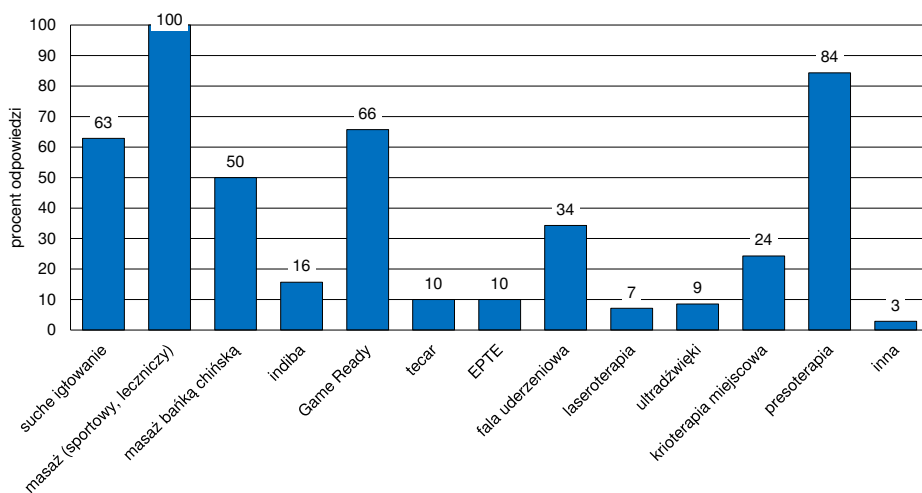
W zależności od charakteru analizowanych zmiennych zastosowano test U Manna–Whitneya, test chi-kwadrat (χ^2) i współczynnik korelacji rang Spearmana.

WYNIKI

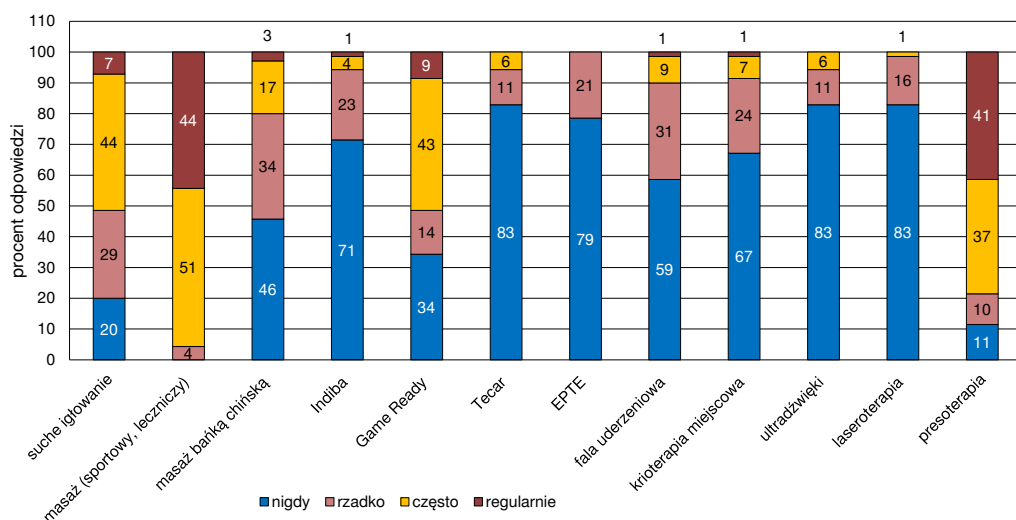
Uczestniczący w badaniach zawodowi piłkarze różnili się pod względem długości stażu gry na poziomie profesjonalnym. Największą grupę tworzyli zawodnicy z ponad 12-letnim doświadczeniem (30%, $n = 21$). Porównywalny odsetek stanowili piłkarze trenujący 10–12 lat (26%, $n = 18$) oraz 7–10 lat (24%, $n = 17$). Mniejszą liczebność odnotowano w grupach osób z 4–6-letnim (13%, $n = 9$) i niespełna 3-letnim stażem (7%, $n = 5$). Większość badanych charakteryzowała się wieloletnim doświadczeniem w sporcie zawodowym, co mogło sprzyjać większej znajomości metod regeneracyjnych oraz wykształceniu określonych nawyków w zakresie odnowy biologicznej.

Pod względem poziomu rozgrywek, w których występowali respondenci, najliczniejszą grupę stanowili zawodnicy II ligi (44%, $n = 31$), następnie I ligi (39%, $n = 27$) i Ekstraklasy (16%, $n = 11$). Jedna osoba (1%) wskazała inne rozgrywki. Zróznicowanie poziomu rozgrywkowego umożliwiło ocenę praktyk regeneracyjnych w środowiskach o odmiennym zapleczu organizacyjnym i medycznym.

Na podstawie analizy odpowiedzi ankietowanych wykazano, że regeneracja stanowi stały element ich przygotowania treningowego. Wszyscy respondenci zadeklarowali korzystanie z przynajmniej jednej metody wspomagającej regenerację potreningową. Najczęściej wskazywaną techniką był masaż sportowy lub leczniczy (100% badanych). Wysoki odsetek od-



Rycina 1. Metody fizjoterapeutyczne stosowane przez badanych ($n = 70$)



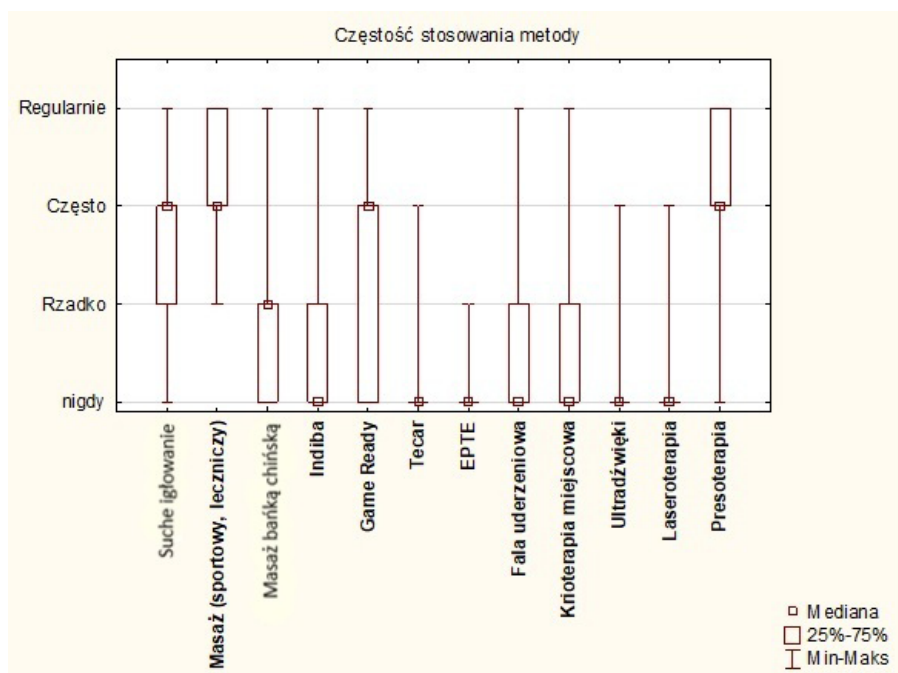
Rycina 2. Ocena częstotliwości stosowania określonych metod regeneracji ($n = 70$)

powiedzi dotyczył również presoterapii (84%) oraz krioterapii miejscowej z wykorzystaniem systemów typu Game Ready (66%). Do stosowania suchego igłowania przyznało się 63% badanych, a masaż bańką chińską zaznaczyło 50%. Szczegółowy rozkład stosowanych metod przedstawiono na rycinie 1.

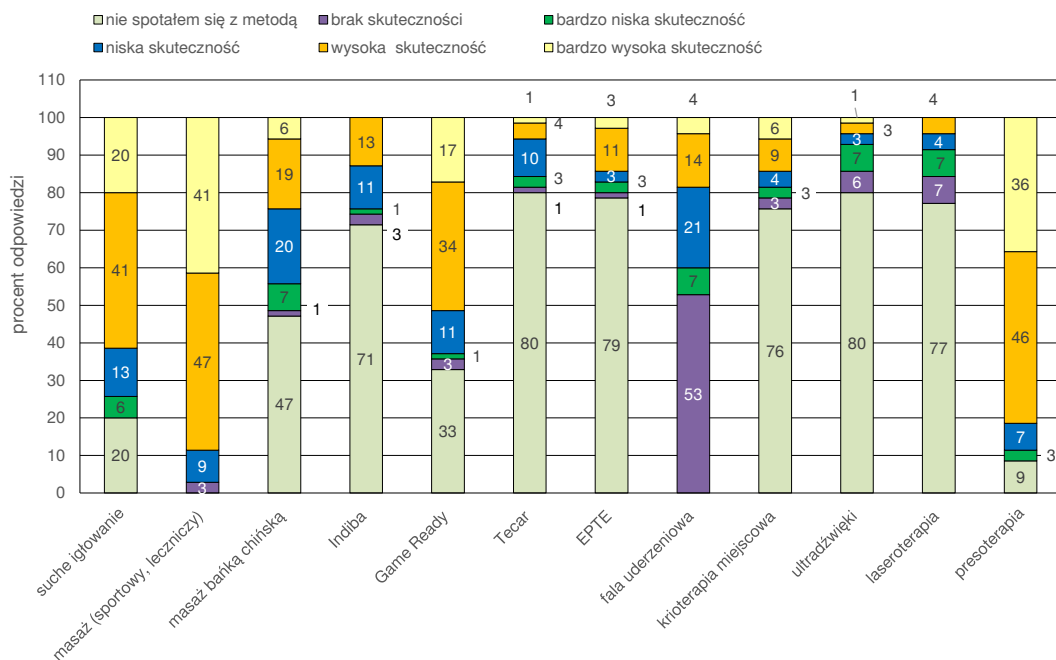
Ocena częstotliwości stosowania poszczególnych metod (regularnie, często, sporadycznie) pozwoliła wykazać, że najwyższy odsetek odpowiedzi „regularnie” oraz „często” dotyczył masażu sportowego, presoterapii oraz suchego igłowania (ryc. 2). Metody te stanowiły zatem podstawowy element procesu regeneracyjnego badanych zawodników.

Dodatkowo analiza rozkładu median i kwartyli (wykres pudełkowy) potwierdziła największą zgodność odpowiedzi w odniesieniu do masażu sportowego oraz presoterapii (ryc. 3), co wskazuje na ich ugruntowaną pozycję w praktyce regeneracyjnej piłkarzy. W analizie korelacyjnej odnotowano brak istotnej zależności między częstotliwością stosowania a oceną skuteczności masażu sportowego ($R = 0,20$; $p < 0,10$). W przypadku masażu bańką chińską stwierdzono natomiast silną dodatnią korelację ($R = 0,80$; $p < 0,0001$).

Rozkład ocen skuteczności metod regeneracyjnych przedstawiono na rycinie 4. Najwyższy odsetek ocen pozytywnych uzyskała presoterapia (82% – 36% „bardzo wysoka skuteczność”, 46% „wysoka skuteczność”).



Rycina 3. Częstość stosowania metody

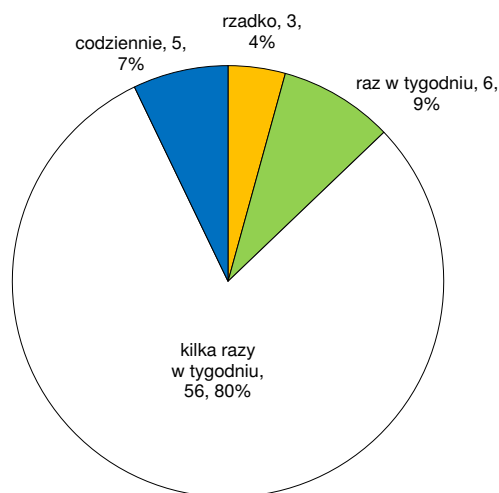
Rycina 4. Ocena skuteczności określonych metod regeneracyjnych ($n = 70$)

Masaż sportowy zdobył 88% ocen pozytywnych (41% „bardzo wysoka skuteczność”, 47% „wysoka skuteczność”), a suche igłowanie oceniono pozytywnie w 61% przypadków (41% „wysoka skuteczność”, 20% „bardzo wysoka skuteczność”). W odniesieniu do systemu Game Ready oceny wysokie lub bardzo wysokie przyznało 51% badanych, przy czym należy zaznaczyć, że 33% respondentów nie miało styczności z tą formą odnowy biologicznej. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic w ocenie skuteczności systemu Game Ready pomiędzy użytkownikami i osobami niestosującymi tej metody ($\chi^2 = 2,77$; $p = 0,5964$). W przypadku suchego igłowania stwierdzono istotną statystycznie różnicę ($U = 129,5$; $p = 0,0016$) – osoby sięgające po tę metodę oceniały ją wyżej.

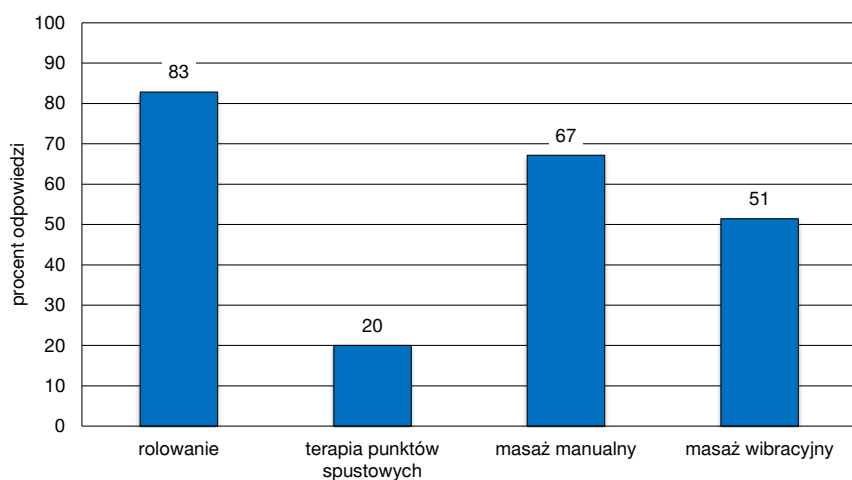
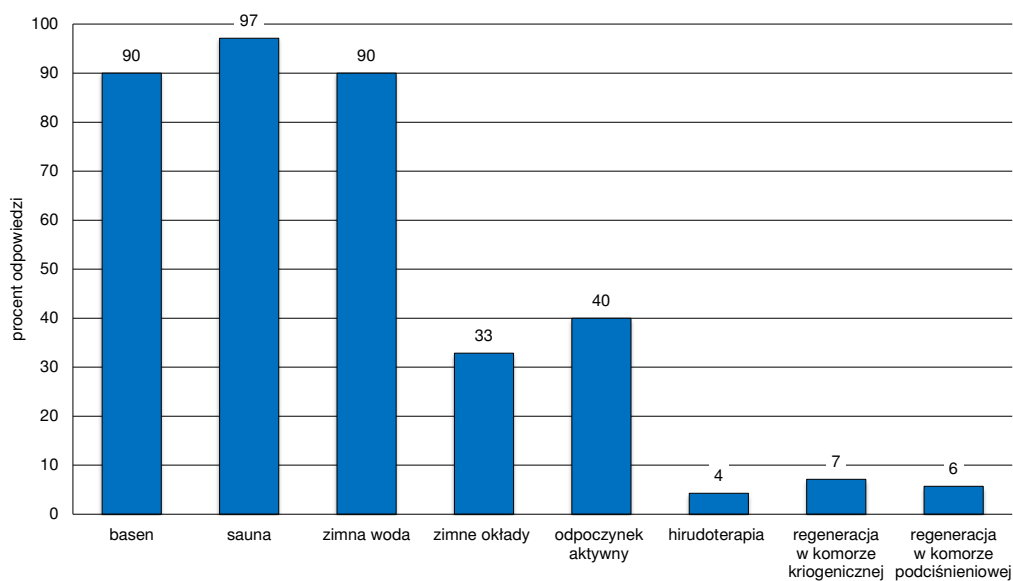
Jedną z najczęściej stosowanych form regeneracji okazał się automasaż (ryc. 5): 80% zawodników zadeklarowało, że wykonuje go kilka razy w tygodniu po treningu lub meczu, 7% przyznało, że robi to codziennie, a 13% że sporadycznie (raz w tygodniu lub rzadziej).

Badani zostali poproszeni o wskazanie najczęściej stosowanych technik automasażu (ryc. 6) i używanych do tego narzędzi. Wśród technik na pierwszym miejscu znalazło się rolowanie (83%), kolejne były masaż manualny (67%), masaż wibracyjny (51%) i terapia punktów spustowych (20%). Wśród używanych narzędzi dominowała rolka piankowa (81%), a następnie pistolet do masażu i ręce (po 54%) oraz piłka do masażu (36%).

Badani piłkarze mieli także za zadanie wskazać stosowane przez nich klasyczne metody regeneracyjne. I tak 97% odpowiedziało, że korzysta z sauny, 90% zaznaczyło basen i również 90% przyznało, że zażywa kąpeli

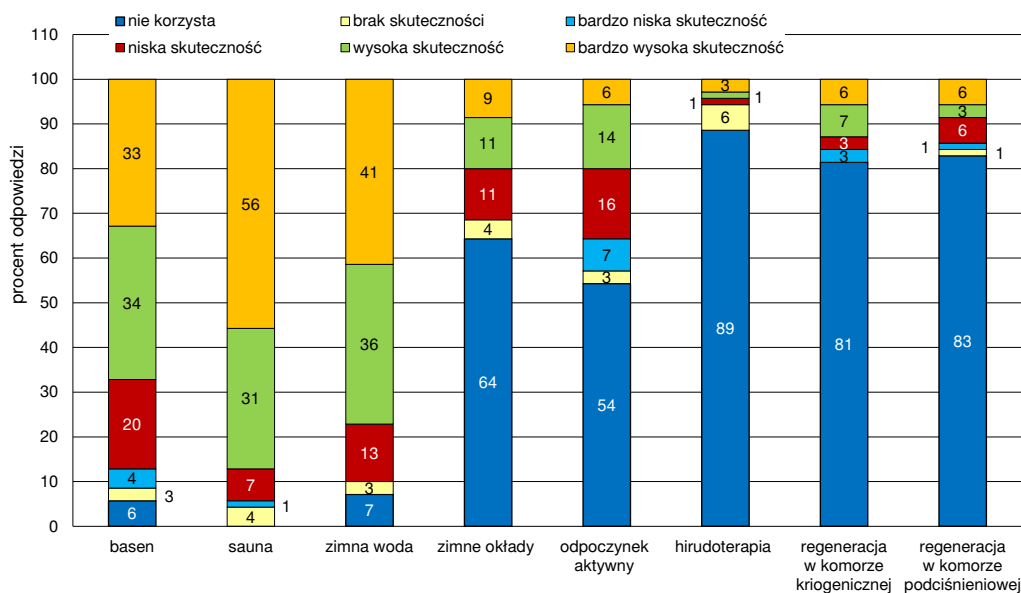


Rycina 5. Częstotliwość stosowania przez badanych automasażu po treningu/meczu

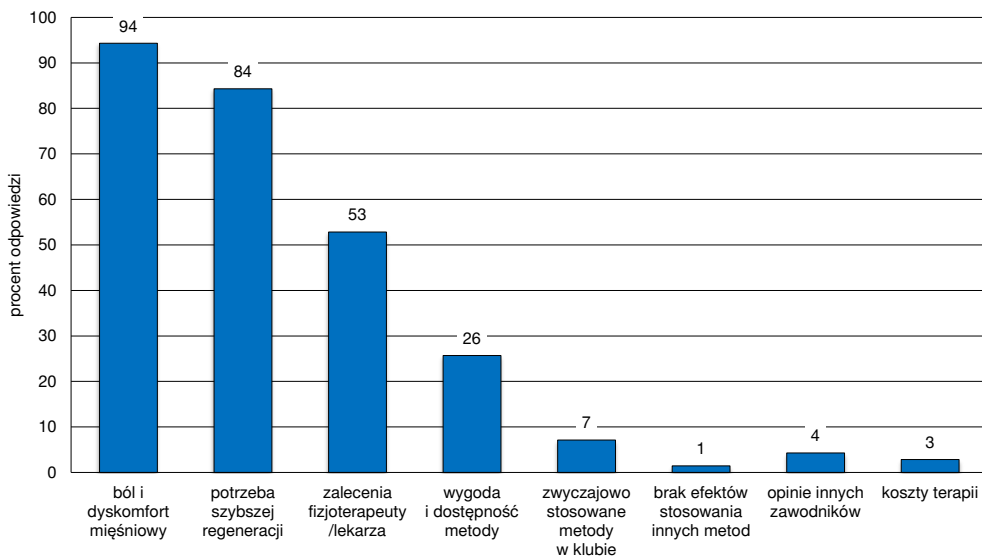
Rycina 6. Stosowane przez badanych techniki automasażu ($n = 70$)Rycina 7. Wspomagające metody regeneracji ($n = 70$)

w zimnej wodzie (ryc. 7). Sauna została przez 56% respondentów oceniona jako bardzo skuteczna, a 31% uznało ją za skuteczną (ryc. 8). Kąpiele w zimnej wodzie uzyskały 41% ocen oznaczających wysoką skuteczność i 36% ocen wskazujących na to, że są skuteczne. W przypadku basenu było to odpowiednio 33% i 34% odpowiedzi.

Najczęściej wskazywanym czynnikiem determinującym wybór metody regeneracyjnej był ból i dyskomfort mięśniowy (94% odpowiedzi) oraz



Rycina 8. Ocena badanych dotycząca skuteczności wspomagających metod odnowy biologicznej ($n = 70$)



Rycina 9. Czynniki wpływające, zdaniem badanych, na wybór metody regeneracyjnej ($n = 70$)

potrzeba szybszej regeneracji (84%) (ryc. 9). Zalecenia fizjoterapeuty lub lekarza wskazało 53% respondentów, a wygoda i dostępność miały znaczenie dla 26% badanych.

W analizie wiedzy na temat metod odnowy biologicznej okazało się, że 40% zawodników oceniło ją na poziomie 8/10, 25,7% na poziomie 7, a 11,4% na poziomie 9 (tab. 1). Jeśli chodzi o zaufanie do fizjoterapeutów, to 70% respondentów zadeklarowało wysoki jego poziom przy jednoczesnym korzystaniu z własnych metod, 27,1% przyznało, że całkowicie polega na specjalistach, a 2,9% wykazywało ograniczone zaufanie (tab. 2).

Tabela 1. Ocena badanych dotycząca własnej wiedzy o metodach regeneracji i automasażu

Ocena (1–10)	Liczba odpowiedzi	%
5	5	7
6	7	10
7	18	25
8	28	40
9	8	11
10	4	5

Tabela 2. Zaufanie badanych do fizjoterapeutów w kontekście doboru metod regeneracji

Odpowiedź	<i>n</i>	%
Zaufam tylko w przypadku kontuzji	2	2,9
Ufam, ale czasem wybieram inne metody	49	70,0
Całkowicie ufam	19	27,1

Tabela 3. Korzystanie przez badanych z presoterapii a subiektywna ocena wiedzy na temat regeneracji (test *U* Manna–Whitneya)

Zmienna	<i>U</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>	<i>Z</i> popraw.	<i>p</i>	<i>n</i> ważn. tak	<i>n</i> ważn. nie
Ocena wiedzy (subiektywna)	202,5000	1,960719*	0,049913*	2,048493*	0,040513*	59	11

Z – wartość statystyki normalnej, *p* – poziom istotności statystycznej (za istotne uznano $p < 0,05$), *Z* popraw. – poprawiona wartość *Z*, *n* ważn. – liczba ważnych odpowiedzi

* istotne z $p < 0,05000$

Tabela 4. Korzystanie przez badanych z usług fizjoterapeuty poza klubem a liczba stosowanych metod regeneracyjnych (test Spearmana)

Para zmiennych	<i>n</i> ważnych	<i>R</i> Spearman	<i>t</i> (<i>n</i> -2)	<i>p</i>
Fizjoterapeuta (poza klubem) i liczba metod fizjoterapeutycznych	70	0,315228	1,817405	0,043561*

R – współczynnik korelacji rang Spearmana, *t*(*n*-2) – wartość testu *t* dla *n*-2 stopni swobody, *p* < 0,05 przyjęto jako istotne

* istotne z *p* < 0,05000

Analiza pozwoliła wykazać istotną statystycznie różnicę w ocenie wiedzy między osobami korzystającymi z presoterapii a pozostałymi (*U* = 202,5; *p* = 0,0405) (tab. 3). Stwierdzono również umiarkowaną dodatnią korelację między odpowiedziami dotyczącymi korzystania z usług fizjoterapeuty poza klubem a liczbą stosowanych metod regeneracyjnych (*R* = 0,315; *p* = 0,0436) (tab. 4).

DYSKUSJA

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badani piłkarze wykazywali wysoki poziom zaangażowania w proces regeneracji potreningowej oraz regularnie korzystali z różnorodnych technik fizjoterapeutycznych – najczęściej z masażu sportowego, presoterapii, krioterapii miejscowej (w tym systemów typu Game Ready) oraz automasażu. Zabrane dane są spójne z doniesieniami literaturowymi, w których podkreśla się znaczenie kompleksowego podejścia do regeneracji w sporcie wyczynowym.

Masaż sportowy pozostaje jedną z najczęściej wykorzystywanych form odnowy biologicznej. Davis i wsp. (2020) wskazują, że może on wpływać na zmniejszenie odczuwanego bólu mięśniowego oraz poprawę zakresu ruchu po wysiłku. W badaniach własnych wszyscy respondenci deklaruwali korzystanie z tej metody, co potwierdza jej ugruntowaną pozycję w praktyce klubowej. Co istotne, nie wykazano istotnej zależności między częstotliwością stosowania masażu sportowego a oceną jego skuteczności, co może sugerować, że jest on traktowany jako standardowy element regeneracji, niezależnie od indywidualnych preferencji.

Wysoką ocenę skuteczności uzyskała również presoterapia. Metaanaliza Dupuy i wsp. (2018) pozwala stwierdzić, że metody kompresyjne mogą

przyczyniać się do redukcji objawów zmęczenia i przyspieszać usuwanie metabolitów powysiłkowych. W przedstawionym projekcie badawczym piłkarze korzystający z presoterapii oceniali swoją wiedzę na temat regeneracji istotnie wyżej, co może sugerować, że zawodnicy bardziej świadomi dostępnych metod częściej sięgają po techniki specjalistyczne.

Systemy kriokompresji typu Game Ready również zostały wysoko ocenione, choć dostęp do nich był ograniczony. W literaturze przedmiotu wskazuje się, że zimnolecznictwo może redukować bolesność mięśniową i wspierać regenerację neuromięśniową (Chen i wsp., 2024; Xiao i wsp., 2023). W badaniach własnych nie wykazano jednak istotnych statystycznie różnic w ocenie skuteczności tej metody między użytkownikami a osobami, które jej nie stosowały, co może wynikać z indywidualnych różnic w reakcji na terapię lub zróżnicowanej dostępności sprzętu w klubach.

Automasaż, zwłaszcza z wykorzystaniem rollerów, był jedną z najczęściej wskazywanych metod samodzielnej regeneracji. Wilke i wsp. (2020) oraz Wiewelhove i wsp. (2019) podkreślają, że foam rolling może poprawiać zakres ruchu i zmniejszać napięcie mięśniowe bez negatywnego wpływu na wydolność. Wysoki odsetek zawodników stosujących tę technikę kilka razy w tygodniu potwierdza jej praktyczną przydatność i dostępność.

Istotne miejsce w planie regeneracyjnym badanych piłkarzy zajmowały także klasyczne metody, takie jak sauna oraz kąpiele w zimnej wodzie. Ahokas i wsp. (2023) wskazują, że sesje sauny mogą korzystnie wpływać na regenerację neuromięśniową, a metaanaliza Bieuzena i wsp. (2013) potwierdza skuteczność kąpiei kontrastowych w redukcji objawów uszkodzeń mięśniowych. W niniejszym projekcie badawczym zawodnicy oceniali te metody jako skuteczne, co pozwala wnioskować, że tradycyjne formy odnowy biologicznej nadal odgrywają ważną rolę w sporcie zawodowym.

Jedno z pytań ankiety dotyczyło współpracy z fizjoterapeutą. Wyniki potwierdzają, że miała ona dla zawodników znaczenie. Piłkarze korzystający z prywatnych usług specjalistów przyznawali się do stosowania większej liczby metod regeneracyjnych. Warto w tym miejscu przytoczyć zdanie Zarro i wsp. (2022), zgodnie z którym rola fizjoterapeuty w środowisku sportowym wykracza poza działania terapeutyczne i obejmuje nauczanie oraz doradztwo w zakresie profilaktyki przeciążeń. Jak podkreślają Heaney i wsp. (2015), edukacja na temat regeneracji sprzyja bardziej świadomemu zarządzaniu obciążeniem treningowym.

OGRANICZENIA

Analiza opierała się na subiektywnej ocenie zawodników, co może się wiązać z efektem percepcyjnym i różnicami indywidualnymi. Ponadto badanie obejmowało wyłącznie piłkarzy z Polski, przez co została ograniczona możliwość generalizowania wyników na inne środowiska ligowe.

WNIOSKI

1. Zawodowi piłkarze wykazali wysoki poziom świadomości znaczenia regeneracji potreningowej stanowiącej integralny element przygotowania treningowego, deklarując jednocześnie regularne stosowanie różnorodnych technik fizjoterapeutycznych i automasażu.
2. Do najczęściej wykorzystywanych metod należały: masaż sportowy, automasaż (rolowanie, pistolet wibracyjny), presoterapia oraz krioterapia miejscowa, w tym systemy typu Game Ready.
3. Presoterapia, masaż sportowy oraz suche igłowanie zostały przez zawodników najwyżej ocenione pod względem skuteczności.
4. Automasaż okazał się powszechnie stosowaną i łatwo dostępną formą regeneracji, wykonywaną przez większość zawodników kilka razy w tygodniu.
5. Klasyczne metody odnowy biologicznej, takie jak sauna, kąpiele w zimnej wodzie oraz aktywność w basenie, były wskazywane przez respondentów jako istotne uzupełnienie specjalistycznych technik fizjoterapeutycznych.
6. Zawodnicy korzystający z usług fizjoterapeutów poza klubem deklaruwali stosowanie większej liczby metod regeneracyjnych, co podkreśla znaczenie indywidualnej opieki specjalistycznej.

BIBLIOGRAFIA

- Ahokas, E.K., Ihalainen, J.K., Hanstock, H.G., Savolainen, E., Kyröläinen, H. (2023). A post-exercise infrared sauna session improves recovery of neuromuscular performance and muscle soreness after resistance exercise training. *Biology of Sport*, 40(3), 681–689, <https://doi.org/10.5114/biolsport.2023.119289>.
- Bieuzen, F., Bleakley, C.M., Costello, J.T. (2013). Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 8(4), e62356, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062356>.

- Chen, R., Ma, X., Ma, X., Cui, C. (2024). The effects of hydrotherapy and cryotherapy on recovery from acute post-exercise induced muscle damage: a network meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, 749, <https://doi.org/10.1186/s12891-024-07315-2>.
- Davis, H.L., Alabed, S., Chico, T.J.A. (2020). Acute effects of sports massage on performance, recovery, and muscle properties: a systematic review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(5), 656–664, <https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-053>.
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., Dugué, B. (2018). An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 403, <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00403>.
- Heaney, C.A., Walker, N.C., Green, A.J.K., Rostron, C.L. (2015). Sport psychology education for sport injury rehabilitation professionals: a systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 16(1), 72–79.
- Kellmann, M., Beckmann, J. (2018). *Recovery and Well-Being in Sport and Exercise*. London: Routledge.
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1–24, <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.730061>.
- Nédélec, M., McCall, A., Carling, C., Legall F., Berthoin, S., Dupont, G. (2013). Recovery in soccer: part I. *Sports Medicine*, 43(1), 9–22, <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0002-0>.
- Nobari, H., Alijanpour, N., Talvari, A., Oliveira, R. (2023). Effects of different training schedules based on distance and accelerometry measures: a full-season case study in professional soccer players. *Scientific Reports*, 13, 10193, <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37337-0>.
- Trybulski, R., Muracki, J., Aldhahi, M.I., Kurtoğlu, A., Halski, T. (2025). Effect of cold compression and ice therapy on muscle recovery after plyometric exercise: a randomized crossover trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 45, 1010–1019, <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2025.10.021>.
- Wiewelhoeve, T., Döweling, A., Schneider, C., Hottenrott, L., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A. (2019). A meta-analysis of the effects of foam rolling on performance and recovery. *Frontiers in Physiology*, 10, 376, <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00376>.
- Wilke, J., Müller, A.-L., Giesche, F., Power, G., Ahmedi, H., Behm, D.G. (2020). Foam rolling and range of motion: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 50, 387–402, <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01205-7>.
- Xiao, Y., Kabachkova, E., Jiao, Y., Zhao, Y., Kapilevich, L. (2023). Effects of cold water immersion after exercise on fatigue recovery: a meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 14, 1123456, <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1006512>.

Zarro, M., Silverson, O., Soenksen, W., Thein-Nissenbaum, J., Cirone, E.C., Rowland, R., Staker, J. (2022). Roles and responsibilities of the physical therapist in collegiate athletics: results of a national survey. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 17(6), 1128–1135, <https://doi.org/10.26603/001c.38015>.

ABSTRACT

Knowledge and use of physiotherapeutic techniques and self-massage in post-training recovery among professional football players

Introduction. This study was designed to evaluate both the level of knowledge and the scope of application of physiotherapy techniques and self-massage in post-training recovery among professional football players competing at least at second-league level. **Material.** A total of 70 players aged between 18 and 34 years participated in the study. **Methods.** Data were collected using a self-developed electronic questionnaire, including items on the frequency of use of recovery strategies, their perceived effectiveness and the factors influencing the selection of particular techniques. Statistical analysis was conducted using the Mann–Whitney *U* test, the chi-square test and Spearman's rank correlation coefficient ($\alpha = 0.05$). **Results.** The most commonly used recovery methods were sports massage, pressotherapy, local cryotherapy (including Game Ready-type systems) and self-massage using foam rollers and percussion guns. Sauna sessions, cold-water immersion and swimming-based activities were also rated highly in terms of their effectiveness as complementary forms of recovery. A significant relationship was identified between the reported use of pressotherapy and higher self-assessed knowledge of recovery practices ($p < 0.05$). Furthermore, a moderate positive correlation was observed between engagement with physiotherapy services outside the club and the number of recovery methods applied. **Conclusions.** Professional football players demonstrated a high level of awareness of the importance of recovery within the training process; however, access to advanced recovery technologies varies according to the level of competition and the organisational capacity of the club.

Keywords: post-training recovery, sports physiotherapy, self-massage, football, pressotherapy, cryotherapy

Adres do korespondencji
e-mail: nikol.mieszala.fizjo@gmail.com

ALEKSANDRA OLEJNICZAK¹, KLAUDIA MAREK²,
ELŻBIETA MILLER², IGOR ZUBRYCKI³

¹ Studenckie Koło Naukowe Neurorehabilitacji, Wydział Nauk o Zdrowiu,
Uniwersytet Medyczny w Łodzi

² Klinika Rehabilitacji Neurologicznej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

³ Instytut Automatyki, Politechnika Łódzka

SKUTECZNOŚĆ I BEZPIECZEŃSTWO TERAPII WSPOMAGANEJ ROBOTYCZNIE W NEUROREHABILITACJI KOŃCZYNY GÓRNEJ PO UDARZE MÓZGU

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena skuteczności i bezpieczeństwa czterotygodniowej terapii wspomaganej robotem Balonikotron w poprawie funkcji kończyny górnej i samodzielności pacjentów po udarze mózgu. **Materiał.** W badaniach uczestniczyło 12 pacjentów po udarze niedokrwinnym mózgu (9 mężczyzn i 3 kobiety) w wieku 47–84 lat ($67,4 \pm 10,4$ roku). Czas od udaru wynosił od 3 tygodni do 60 miesięcy. Pacjentów podzielono na dwie grupy: grupę eksperymentalną ($n = 6$) i grupę kontrolną ($n = 6$), przy czym przydział do grup odbywał się w sposób losowy. Wszyscy pacjenci realizowali czterotygodniowy program rehabilitacji obejmujący 20 sesji treningu wyprósty nadgarstka wspomaganego urządzeniem pneumatycznym. **Metody.** Ocenę przeprowadzono przed interwencją i po jej zakończeniu. Do oceny funkcji motorycznej posłużono się skalą FMA-UE, spastyczność mierzono skalą MAS, a samodzielność skalą Barthel. Zastosowano statystyki opisowe, test rang Wilcozona, współczynnik Cohena oraz korelację rang Spearmana ($p \leq 0,05$). **Wyniki.** W grupie eksperymentalnej odnotowano istotną poprawę funkcji kończyny górnej oraz samodzielności funkcjonalnej, przy dużej wielkości efektu ($d = 1,25$ – $1,57$). W grupie kontrolnej nie wykazano istotnych zmian. **Wnioski.** Terapia wspomagana robotem okazała się skuteczna i bezpieczna, prowadząc do istotnej poprawy funkcji kończyny górnej i samodzielności pacjentów po udarze mózgu. **Słowa kluczowe:** udar mózgu, robotyka, kończyna górna, neurorehabilitacja

WPROWADZENIE

Rosnąca zapadalność na udar mózgu oraz utrzymujące się wysokie obciążenie chorobami sercowo-naczyniowymi stanowią jedno z kluczowych wyzwań dla współczesnych systemów ochrony zdrowia. Choroby układu krążenia, do których można zaliczyć także udar mózgu, odpowiadają za mniej więcej 31% wszystkich zgonów na świecie (Roth i wsp., 2017). Zgodnie z najnowszą analizą Global Burden of Disease Study (GBD 2021, 2024) udar mózgu pozostaje drugą najczęstszą przyczyną zgonów oraz jedną

z głównych przyczyn niepełnosprawności na świecie. W 2021 r. odnotowano ponad 12 mln nowych przypadków udaru mózgu oraz blisko 7 mln zgonów z nim związanych, a całkowita liczba osób żyjących z następstwami udaru przekroczyła 100 mln. Autorzy raportu wskazują również na istotny wzrost globalnej liczby zachorowań w porównaniu z rokiem 1990, co wynika ze starzenia się populacji, jak też utrzymującej się ekspozycji na modyfikowalne czynniki ryzyka, takie jak nadciśnienie tętnicze, cukrzyca, otyłość czy palenie tytoniu (GBD 2021, 2024). Analizy epidemiologiczne wskazują na systematyczny wzrost liczby osób żyjących z następstwami udaru w Europie, co bezpośrednio przekłada się na rosnące zapotrzebowanie na długoterminową rehabilitację neurologiczną (Prendes i wsp., 2024). W konsekwencji może to prowadzić do zmniejszenia dostępności intensywnych, indywidualnych sesji terapeutycznych realizowanych przez fizjoterapeutów, co stwarza ryzyko spowolnienia procesu usprawniania i uzasadnia poszukiwanie rozwiązań wspomagających terapię.

Zaburzenia funkcji motorycznych kończyny górnej należą do najczęstszych następstw udaru mózgu i stanowią istotną przyczynę utraty samodzielności funkcjonalnej pacjentów. Deficyty te obejmują osłabienie siły mięśniowej, obniżenie selektywnej kontroli ruchu oraz utrwalenie wzorców patologicznej synergii wynikające z uszkodzenia dróg korowo-rdzeniowych i zaburzeń integracji czuciowo-ruchowej (Sarhan i wsp., 2023). Udar mózgu często prowadzi do połowiczego niedowładu obejmującego stronę ciała przeciwną do lokalizacji ogniska udarowego w półkuli mózgowej, co wynika ze skrzyżowanego przebiegu głównych dróg piramidowych (Sarhan i wsp., 2023). Konsekwencją tych zmian jest zaburzenie precyzyjnej kontroli dystalnych segmentów kończyny górnej, w tym nadgarstka i dłoni, które w największym stopniu determinują sprawność manipulacyjną oraz zdolność wykonywania czynności dnia codziennego (Mehrholz i wsp., 2015).

Proces odzyskiwania funkcji po udarze opiera się na mechanizmach neroplastyczności rozumianej jako zdolność mózgu do adaptacyjnej reorganizacji sieci neuronalnych. Intensywna, powtarzalna i zadaniowo ukierunkowana stymulacja ruchowa sprzyja przebudowie funkcjonalnej oraz poprawie kontroli motorycznej, co znajduje odzwierciedlenie w badaniach dotyczących treningu elektromechanicznego i robotycznego kończyny górnej (Mehrholz i wsp., 2015; Rajashekar i wsp., 2024). Współczesne podejścia terapeutyczne podkreślają znaczenie wysokiej liczby powtórzeń, precyzyjnego dozowania obciążenia oraz jakości wykonywanego ruchu

jako kluczowych czynników warunkujących skuteczność rehabilitacji (Sarhan i wsp., 2023).

Szczególne znaczenie w przywracaniu funkcji manipulacyjnych ma biomechanika kompleksu nadgarstkowego. Staw promieniowo-nadgarstkowy oraz struktury szeregu bliższego i dalszego kości nadgarstka tworzą układ wieloosiowy umożliwiający ruchy zgięcia i wyprostu oraz odwiedzenia promieniowego i łokciowego przy jednoczesnej współpracy z segmentem przedramienia. Prawidłowe ustawienie nadgarstka, zwłaszcza w wyproście, warunkuje efektywność generowania siły chwytu poprzez optymalizację relacji długość–napiecie mięśni zginaczy palców. Ograniczenie wyprostu prowadzi do zmniejszenia wydolności chwytnej oraz uruchamiania kompensacyjnych strategii ruchowych w segmentach proksymalnych. Projektowanie urządzeń rehabilitacyjnych przeznaczonych do terapii nadgarstka wymaga zatem uwzględnienia precyzyjnego odwzorowania osi ruchu, kontroli momentu obrotowego oraz bezpiecznego dozowania energii, tak aby nie generować niepożądanych sił ścinających i kompresyjnych w obrębie struktur stawowych (Garcia i wsp., 2024).

Rozwój nowoczesnych technologii i robotów wspomagających rehabilitację odpowiada na potrzebę zwiększania intensywności terapii przy jednoczesnym ograniczeniu obciążenia kadr medycznych i rodzin pacjentów. Nowoczesne technologie w rehabilitacji neurologicznej zyskują coraz większe znaczenie kliniczne, co wynika z obserwowanej poprawy funkcji motorycznych oraz wzrostu niezależności funkcjonalnej osób poddawanych terapii wspomaganej technologicznie (Bardi i wsp., 2022). Coraz więcej badań koncentruje się jednak nie tylko na skuteczności, ale również na możliwości wykorzystania i zastosowania robotów rehabilitacyjnych poza środowiskiem szpitalnym. Tanczak i wsp. (2025) wykazali, że rehabilitacja ręki wspomagana miękką ortezą robotyczną jest bezpieczna i możliwa do realizacji zarówno w warunkach klinicznych, jak i domowych, przy wysokiej akceptacji pacjentów. Autorzy sugerują, że rozwój kompaktowych i elastycznych robotów może sprzyjać zwiększeniu dostępności intensywnego treningu ręki, co ma szczególne znaczenie w kontekście rosnącej liczby osób żyjących z następstwami udaru mózgu.

Istotnym utrudnieniem we wdrażaniu zaawansowanych robotów wspomagających rehabilitację pozostaje ich koszt oraz niewystarczająca dostępność dla szerokiej populacji pacjentów z różnymi deficytami neurologicznymi (Cano-de-la-Cuerda i wsp., 2024). Całkowity koszt systemu i urządzenia nie obejmuje wyłącznie procesu produkcji i zespołu projek-

towego, lecz również koszty operacyjne oraz związane z wymianą komponentów, szkoleniami wykwalifikowanego personelu i długoterminową konserwacją urządzeń, co istotnie wpływa na ich implementację w praktyce klinicznej (Calabrò i wsp., 2020). W odpowiedzi na te wyzwania coraz więcej zespołów projektowych koncentruje się na opracowywaniu rozwiązań opartych na tańszych i bardziej dostępnych materiałach oraz uproszczonych konstrukcjach, a dzięki temu na obniżeniu kosztów jednostkowych urządzeń. Analizy ekonomiczne wskazują, że terapie wykorzystujące robotykę i wirtualną rzeczywistość mogą generować korzystniejszy stosunek kosztów do efektów zdrowotnych w porównaniu z niektórymi interwencjami konwencjonalnymi, zwłaszcza w przypadku pacjentów z większym stopniem niepełnosprawności (Cano-de-la-Cuerda i wsp., 2024). Ocena opłacalności staje się zatem kluczowym elementem wdrażania technologii w systemach ochrony zdrowia.

Szczególnego znaczenia nabiera również kontekst wieku pacjentów po udarze mózgu, ponieważ choroba ta najczęściej dotyczy osób starszych. Aktualne doniesienia wskazują, że odpowiednio zaprojektowane rozwiązania cyfrowe i immersyjne mogą zwiększać motywację do ćwiczeń oraz poprawiać przestrzeganie zaleceń terapeutycznych w tej grupie wiekowej (Matys-Popielska i wsp., 2024; Susło i wsp., 2023). Włączenie technologii do procesu rehabilitacji może zatem stanowić nie tylko wsparcie biomechaniczne, lecz również narzędzie zwiększające adherencję terapeutyczną oraz efektywność długoterminowego usprawniania.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena wpływu terapii wspomaganiej robotem rehabilitacyjnym na funkcję kończyny górnej oraz bezpieczeństwa jej stosowania u pacjentów po udarze mózgu. Ocenie poddano zmiany funkcji motorycznej, poziomu spastyczności oraz samodzielności funkcjonalnej po czterotygodniowej interwencji. Przyjęto założenie, że intensywny, powtarzalny trening wspomagany robotem rehabilitacyjnym do wyprostu nadgarstka poprawi funkcję ręki i poziom samodzielności osób po udarze mózgu, nie powodując wzrostu napięcia mięśniowego.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono zgodnie z zasadami Deklaracji Helsińskiej, a ich protokół został formalnie zatwierdzony przez Komisję Bioetyczne Akademii Medycznej w Łodzi (RNN/281/20/KE).

Osoby badane

Do badań zrekrutowano 14 pacjentów z rozpoznaniem udaru niedokrwienego mózgu. W drugim tygodniu realizacji programu terapeutycznego dwóch pacjentów zostało wyłączonych z dalszego udziału w nim z powodu progresji powikłań medycznych wymagających przeniesienia do innego oddziału. Ostatecznie pełny protokół badawczy ukończyło 12 pacjentów (9 mężczyzn i 3 kobiety), których dane uwzględniono w analizie statystycznej. Szczegółową charakterystykę badanej grupy przedstawiono w tabeli 1. Wiek badanych mieścił się w zakresie od 47 do 84 lat ($67,4 \pm 10,4$ roku). Uczestnicy projektu wyrazili pisemną świadomą zgodę na udział w nim oraz wykorzystanie ich danych do celów naukowych. Po włączeniu do programu pacjentów poddano procedurze randomizacji i przydzielono albo do grupy eksperymentalnej, albo do grupy kontrolnej w stosunku 1:1. Każda osoba badana musiała spełnić następujące kryteria włączenia do projektu: zdiagnozowany udar niedokrwieny mózgu, wynik powyżej 24 pkt w skali MMSE (ang. *mini-mental state examination*), co świadczy o zachowanych funkcjach poznawczych umożliwiających zrozumienie instrukcji i udział w badaniu.

Tabela 1. Charakterystyka badanych z uwzględnieniem płci i czasu od wystąpienia udaru mózgu

Zmienna	Grupa eksperymentalna ($n = 6$)	Grupa kontrolna ($n = 6$)
Kobiety [n (%)]	1 (16,7%)	2 (33,3%)
Mężczyźni [n (%)]	5 (83,3%)	4 (66,4%)
Czas od udaru (miesiące) ($\bar{x} \pm SD$)	1,04 $\pm$ 0,49	17,5 $\pm$ 22,86

Przebieg badań

Badani uczestniczyli w czterotygodniowym programie rehabilitacji neurologicznej. Osoby z grupy kontrolnej realizowały standardowy program prowadzony w oddziale rehabilitacji neurologicznej. Pacjenci z grupy eksperymentalnej, oprócz tego samego programu, byli dodatkowo poddani terapii wspomaganej robotem Balonikotron wyposażonego w pneumatyczny mechanizm wspierający wyprost nadgarstka.

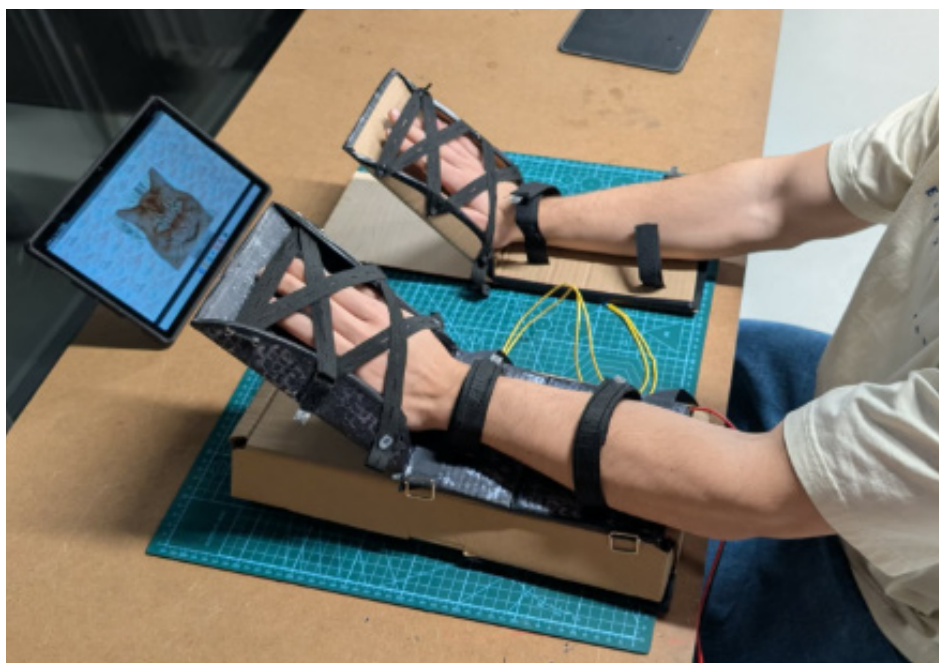
Program terapeutyczny obejmował 20 sesji realizowanych pięć razy w tygodniu. Każda sesja trwała 45 min i składała się z trzech 10-minutowych bloków ćwiczeń oddzielonych 5-minutowymi przerwami. W grupie eksperymentalnej zastosowano urządzenie umożliwiające synchroniczne odwzorowanie ruchu kończyny zdrowej przez kończynę niedowładną, na zasadzie zbliżonej do terapii lustrzanej. Urządzenie przeznaczone jest do terapii wyprostu nadgarstka u pacjentów po udarze i charakteryzuje się lekką, niskokosztową konstrukcją, łączącą elementy mechaniczne, pneumatyczne oraz elektroniczny system sterowania. Zestaw obejmuje: (1) konstrukcję mechaniczną – tekturową obudowę z zawiasem i ruchomą płytą, szyny prowadzące oraz system stabilizacji; (2) układ pneumatyczny – balon z siłownikiem membranowym, pompę membranową i zawór elektropneumatyczny; (3) elektronikę – płytę sterującą ESP32, czujniki ugięcia, przewody elektryczne, interfejs użytkownika oraz akumulator; a także (4) system operacyjny współpracujący z tabletem. Konstrukcję zestawu terapeutycznego oraz jego elementy składowe przedstawiono na rycinie 1, a sposób wykonywania ćwiczenia zaprezentowano na rycinie 2. Ćwiczenia polegały na powtarzaniu wyprostu w stawie nadgarstkowym w zakresie dostosowanym indywidualnie do możliwości pacjenta, bez wywołania dolegliwości bólowych.

Wszyscy pacjenci, zarówno w grupie eksperymentalnej, jak i kontrolnej, uczestniczyli w standardowym 4-tygodniowym programie rehabilitacji neurologicznej prowadzonym przez fizjoterapeutów sześć razy w tygodniu, z wyłączeniem niedziel. Program obejmował codzienną 60-minutową sesję neurorehabilitacji realizowaną rano, składającą się z 30 min ćwiczeń opartych na technikach kształtowania, i wykonywaniu czynności dnia codziennego oraz 30 min powtarzalnego treningu zadaniowego lub ćwiczeń równoważnych. Ponadto pacjenci uczestniczyli w 15-minutowej sesji psychoterapii oraz 30-minutowym treningu aerobowym realizowanym w dwóch lub trzech 10-minutowych blokach rozdzielonych 60-minutowymi przerwami. W razie potrzeby czas trwania i intensywność terapii były modyfikowane w zależności od stanu funkcjonalnego pacjenta, tolerancji wysiłku oraz postępów rehabilitacji.

Oceny klinicznej dokonano dwukrotnie: przed rozpoczęciem programu terapeutycznego oraz po jego zakończeniu.



Rycina 1. Stanowisko do ćwiczeń wyprostowania nadgarstka z wykorzystaniem urządzenia Balonikotron



Rycina 2. Ćwiczenie wyprostowania nadgarstka

Metody

Do oceny funkcji motorycznej kończyny górnej zastosowano skalę Fugl-Meyer Assessment-Upper Exterimity (FMA-UE). Jest to standaryzowane narzędzie służące do ilościowej oceny funkcji ruchowej u pacjentów po udarze mózgu (Blas-Zamorano i wsp., 2025). Skala obejmuje ocenę ruchów w obrębie kończyny górnej, koordynacji oraz zdolności wykonywania ruchów izolowanych. Pacjent może uzyskać maksymalnie 66 pkt, przy czym wyższy wynik wskazuje na lepszą funkcję motoryczną ręki.

Stopień nasilenia spastyczności ustalono przy użyciu zmodyfikowanej skali Ashwortha (Modified Ashworth Scale, MAS), która pozwala na ocenę oporu mięśniowego podczas biernego ruchu w stawie w skali od 0 (brak wzmożonego napięcia) do 4 (znaczne zwiększenie napięcia uniemożliwiający wykonanie ruchu). Skala w wersji zmodyfikowanej zawiera również ocenę 1+ oznaczającą niewielkie zwiększenie napięcia mięśniowego, które zmniejsza się przy wykonywaniu ruchów biernych (Vidmar i wsp., 2023).

Stopień samodzielności pacjentów (niezależności funkcjonalnej) w zakresie podstawowych czynności dnia codziennego, takich jak przemieszczenie się, higiena czy spożywanie posiłków, oceniono za pomocą skali Barthel (Barthel Index, BI) (Shah i wsp., 1989). Badany może uzyskać 0–100 pkt, przy czym wyższy wynik oznacza większą samodzielność.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną przeprowadzono na podstawie wyników uzyskanych w dwóch punktach czasowych: przed rozpoczęciem interwencji oraz po jej zakończeniu. Dla wszystkich analizowanych zmiennych obliczono statystyki opisowe, w tym średnią arytmetyczną ($\bar{x}$) oraz odchylenie standardowe (SD).

W celu oceny istotności różnic między pomiarami przed terapią i po terapii zastosowano nieparametryczny test rang Wilcoxona dla prób zależnych. Analizie poddano zmiany w zakresie funkcji motorycznej kończyny górnej (FMA-UE), nasilenia spastyczności (MAS) oraz poziomu samodzielności funkcjonalnej (BI).

Ze względu na niewielką liczebność grupy eksperymentalnej ($n = 6$) moc zastosowanych testów statystycznych była ograniczona. Przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ możliwe było wykrycie przede wszystkim dużych efektów terapeutycznych, natomiast brak istotności statystycznej nie wyklucza rzeczywistych różnic między pomiarami.

Wielkość efektu terapeutycznego dla zmian w zakresie FMA-UE oraz wyniku uzyskanego w skali Modified Katz Activities of Daily Living (ADL) określono przy użyciu współczynnika Cohena. Zależności między wyjściowymi parametrami klinicznymi oceniono za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana. Poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p \leq 0,05$.

WYNIKI

W grupie eksperymentalnej po 4-tygodniowej rehabilitacji z wykorzystaniem robota stwierdzono istotną statystycznie poprawę funkcji motorycznej kończyny górnej ocenianej skalą FMA-UE ($p \approx 0,028$). Średni przyrost wyniku wynosił $18,83 \pm 15,12$ pkt, co wskazuje na klinicznie istotną zmianę funkcjonalną. Wielkość efektu terapeutycznego była duża ($d = 1,25$), potwierdzająca wysoką skuteczność interwencji w zakresie poprawy kontroli ruchu kończyny górnej. Szczegółowe wartości przedstawiono w tabeli 2. Jednocześnie odnotowano istotną poprawę w zakresie samodzielności funkcjonalnej ($p \approx 0,026$). Średni wzrost wyniku ADL sięgał $0,92 \pm 0,58$, a wielkość efektu była bardzo duża ($d = 1,57$).

W analizie zmian dotyczących spastyczności nie zaobserwowano pogorszenia stanu klinicznego badanych. Redukcję napięcia mięśniowego obserwowano u dwóch pacjentów, przy czym jeden przypadek dotyczył osoby z grupy eksperymentalnej (tab. 3), a drugi osoby z grupy kontrolnej.

W grupie kontrolnej nie odnotowano istotnej statystycznie poprawy funkcji motorycznej kończyny górnej ($p \approx 0,345$). Średni przyrost FMA-U wynosił $4,17 \pm 8,91$ pkt, przy małej do umiarkowanej wielkości efektu ($d = 0,47$). W zakresie samodzielności funkcjonalnej obserwowano tendencję do poprawy ($p = 0,059$), jednak bez osiągnięcia poziomu istotności statystycznej; średnia zmiana wyniosła $0,42 \pm 0,38$ ($d = 1,11$).

Tabela 2. Zmiany funkcji motorycznej i samodzielności funkcjonalnej w grupie eksperymentalnej ($n = 6$)

Skala	T1 ($\bar{x} \pm SD$)	T4 ($\bar{x} \pm SD$)	Δ ($\bar{x} \pm SD$)	p (Wilcoxon)	Cohen's d
FMA-UE	$63,33 \pm 11,67$	$82,17 \pm 17,81$	$18,83 \pm 15,12$	0,028	1,25
ADL	$2,83 \pm 0,75$	$3,75 \pm 1,13$	$0,92 \pm 0,58$	0,026	1,57

T1 – pomiar wyjściowy (przed interwencją)

T4 – pomiar końcowy (po 4 tygodniach interwencji)

Tabela 3. Zmiany poziomu spastyczności (MAS) w grupie eksperymentalnej

Zmiana	<i>n</i>	%
Zmniejszenie	1	16,7
Brak zmiany	5	83,3
Zwiększenie	0	0

Tabela 4. Korelacja rang Spearmana pomiędzy analizowanymi zmiennymi w pomiarze początkowym i końcowym w grupie eksperymentalnej

Zmienne	ρ Spearmana (1)	<i>p</i> (1)	ρ Spearmana (4)	<i>p</i> (4)
FMA-UE ↔ ADL	0,75	0,085	0,000	1,000
MAS ↔ FMA-UE	-0,189	0,720	-0,393	0,441
MAS ↔ ADL	-0,237	0,651	-0,266	0,611

Poziom istotności przyjęto jako $p \leq 0,05$.

Analiza korelacji rang Spearmana w pomiarze początkowym pozwoliła wykazać w grupie eksperymentalnej silną dodatnią zależność między funkcją motoryczną a poziomem samodzielności ($\rho = 0,75$), jednak bez istotności statystycznej ($p = 0,085$). Szczegółowe wartości współczynników korelacji dla pomiaru początkowego i końcowego przedstawiono w tabeli 4. W grupie kontrolnej nie stwierdzono istotnych zależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

DYSKUSJA

Rehabilitacja z użyciem nowoczesnej technologii, w tym robotów znacząco rozwinęła dziedzinę fizjoterapii, zwłaszcza w zakresie rehabilitacji nadgarstka. Jest to szczególnie istotne w kontekście pacjentów neurologicznych, po udarze mózgu, którzy doświadczają zaburzeń funkcji ręki oraz niedowładu połowicznego, co znacząco wpływa na ich codzienne życie i utrudnia wykonywanie podstawowych czynności z zakresu ADL (Mandeljc i wsp., 2022). W przeprowadzonych badaniach 4-tygodniowy program z wykorzystaniem urządzenia Balonikotron umożliwiającego terapię lustrzaną doprowadził do istotnej poprawy funkcji motorycznej kończyny górnej ($\Delta = 18,83 \pm 15,12$; $p \approx 0,028$; $d = 1,25$) oraz przywrócenia samodzielności funkcjonalnej pacjentów ($\Delta = 0,92 \pm 0,58$; $p \approx 0,026$;

$d = 1,57$). Duże wielkości efektu wskazują nie tylko na istotność statystyczną, ale również na praktyczne znaczenie uzyskanej poprawy, zwłaszcza w zakresie wykonywania czynności dnia codziennego.

Balonikotron wykorzystuje mechanizm terapii lustrzanej: podczas wykonywania ruchu zdrową ręką uruchamiany jest pneumatyczny system balonowy, który wywołuje odpowiadający mu ruch wyprostu nadgarstka w ręce objętej niedowładem. Ćwiczenie to jest dla wielu pacjentów po udarze mózgu ciężkie do wykonania. Stopień trudności zależy od stopnia niedowładu kończyny. W rehabilitacji osób po udarze mózgu zaleca się ćwiczenia polegające na przedłużonym rozciąganiu mięśni. Celem takich ćwiczeń jest zmniejszanie spastyczności występującej u 17–43% pacjentów (Wissel i wsp., 2013). Robot jest połączony z tabletem i aplikacją z wizerunkiem kota, który wzmacnia informację zwrotną, starając się zachować stały kontakt wirtualny z pacjentem. W razie spadku motywacji i zmniejszenia się częstotliwości wykonywanych ruchów aplikacja zachęca pacjenta do dalszej pracy, stosując różne formy słowne. W przeciwieństwie do konwencjonalnych urządzeń, roboty rehabilitacyjne oparte na biofeedbacku wykrywają dowolne intencje ruchowe pacjentów i wykorzystują te informacje do kontrolowania ruchów urządzenia, umożliwiając aktywny udział w treningu. Stałe monitorowanie parametrów ruchu pacjenta pomaga dostosowywać intensywność i schemat treningu w czasie rzeczywistym, zapewniając spersonalizowaną rehabilitację, która może zwiększać skuteczność treningu (Esposito i wsp., 2021; Zhou i wsp., 2025). W kontekście uzyskanych wyników można przypuszczać, że właśnie połączenie powtarzalności ruchu, mechanizmu lustrzanego oraz wzmocnionej informacji zwrotnej mogło przyczynić się do tak wyraźnej poprawy funkcji kończyny górnej badanych osób.

Wielu klinicystów i inżynierów skupia się na robotach przeznaczonych do rehabilitacji proksymalnych, dużych stawów kończyny górnej: stawu ramiennego i stawu łokciowego. Mniej uwagi poświęcają mniejszym i precyzyjnym stawom – nadgarstka i palców (Basteris i wsp., 2014). U pacjentów po udarze mózgu dochodzi do osłabienia siły mięśniowej, która ogranicza ich możliwość wykonania ruchu, oraz do zaburzenia kontroli prostowników nadgarstka i palców, co stanowi poważne wyzwanie w rehabilitacji kończyny górnej (Andringa i wsp., 2019; Cauraugh i wsp., 2000). Radajewska i wsp. (2013) potwierdzają poprawę niezależności funkcjonalnej u pacjentów po udarze mózgu skutkującym niedowładem kończyny górnej, którzy uczestniczyli w kompleksowej 21-dniowej rehabilitacji sta-

cjonarnej z dodatkową interwencją w postaci treningu lustrzanego prowadzonego przez pięć dni w tygodniu dwa razy dziennie. Istotną poprawę funkcji kończyny górnej wskutek terapii z użyciem robota zaobserwowano również w badaniach własnych.

Spastyczność, która według metaanalizy Zeng i wsp. (2021) występuje u 25–40% pacjentów po udarze, stanowi istotny czynnik ograniczający funkcje kończyny górnej. W badaniach własnych nie odnotowano pogorszenia poziomu napięcia mięśniowego w trakcie czterotygodniowej interwencji, a redukcję spastyczności zaobserwowano jedynie u dwóch pacjentów (zarówno z grupy eksperymentalnej, jak i kontrolnej). Brak zmian w skali MAS przy jednoczesnej wyraźnej poprawie funkcji motorycznej (FMA-UE) i samodzielności funkcjonalnej sugeruje, że obserwowana poprawa kliniczna nie była bezpośrednio zależna od redukcji napięcia mięśniowego. Wyniki te wskazują, że terapia za pomocą robota może sprzyjać zwiększeniu kontroli ruchu i zdolności funkcjonalnych nawet w obecności utrzymującego się komponentu spastycznego, co podkreśla jej bezpieczeństwo oraz potencjał w rehabilitacji poudarowej.

Przedstawione wyniki wpisują się w aktualny kierunek rozwoju neurorehabilitacji akcentujący znaczenie wysokiej intensywności, powtarzalności oraz zadaniowo ukierunkowanego treningu w procesie indukowania plastyczności ośrodkowego układu nerwowego. Technologie robotyczne przeznaczone do rehabilitacji segmentów dystalnych kończyny górnej mogą stanowić uzupełnienie klasycznych programów terapeutycznych, zwłaszcza w obszarze funkcji precyzyjnych, warunkujących samodzielność w czynnościach dnia codziennego. Integracja rozwiązań opartych na biofeedbacku i mechanizmie lustrzanym z konwencjonalną fizjoterapią otwiera perspektywę tworzenia bardziej zindywidualizowanych, adaptacyjnych protokołów rehabilitacyjnych. Kierunek ten wydaje się szczególnie istotny w kontekście rosnących potrzeb populacji poudarowej oraz konieczności optymalizowania efektywności interwencji terapeutycznych w praktyce klinicznej.

OGRANICZENIA

Podjęte badania stanowią jedynie wstęp do przyszłych projektów. Przedstawione wyniki należy interpretować z ostrożnością, ponieważ niewielka liczebność badanej grupy ogranicza jakość i wiarygodność przeprowadzonych analiz. Krótki okres obserwacji nie pozwala na ocenę trwałości uzyskanych efektów terapeutycznych.

Ograniczenia dotyczą również samego urządzenia. Jego konstrukcja i mechanizm działania mogą wpływać na komfort użytkowania oraz ograniczać zastosowanie u pacjentów z nasilonym napięciem mięśniowym. Wskazana jest dalsza optymalizacja technologii. Mimo ograniczeń uzyskane wyniki ujawniają obiecujący trend, który wymaga dalszej weryfikacji w randomizowanych, kontrolowanych, wieloośrodkowych badaniach, prowadzonych na większej populacji pacjentów po udarze mózgu. Kierunek badań wskazuje na ogromny potencjał rozwoju robotyki w dziedzinie rehabilitacji neurologicznej w Polsce, co uzasadnia konieczność kontynuowania i pogłębienia analiz.

WNIOSKI

Terapia wspomagana robotem Balonikotron z wykorzystaniem pneumatycznego systemu do wyprostowania nadgarstka z mechanizmem terapii lustrzanej przyniosła istotną poprawę funkcji motorycznej kończyny górnej u pacjentów po udarze mózgu (przy dużej wielkości efektu terapeutycznego), co wskazuje na jej wysoki potencjał kliniczny.

Poprawa parametrów ruchowych była skorelowana ze wzrostem poziomu samodzielności funkcjonalnej badanych. Interwencja może zatem wpływać nie tylko na kontrolę motoryczną, ale również praktyczne aspekty funkcjonowania pacjentów w codziennym życiu.

Brak pogorszenia poziomu spastyczności oraz jej redukcja u części badanych pozwala sądzić, że zastosowanie urządzenia nie wiązało się z nasileniem patologicznego napięcia mięśniowego.

BIBLIOGRAFIA

- Andringa, A., van de Port, I., van Wegen, E., Ket, J., Meskers, C., Kwakkel, G. (2019). Effectiveness of botulinum toxin treatment for upper limb spasticity poststroke over different ICF domains: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(9), 1703–1725, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.01.016>.
- Bardi, E., Gandolla, M., Braghin, F., Resta, F., Pedrocchi, A.L.G., Ambrosini, E. (2022). Upper limb soft robotic wearable devices: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19(1), 87, <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01065-9>.
- Basteris, A., Nijenhuis, S.M., Stienen, A.H., Buurke, J.H., Prange, G.B., Amirabdollahian, F. (2014). Training modalities in robot-mediated upper limb rehabilitation in stroke: a framework for classification based on a system-

- atic review. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 11(1), 111, <https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-111>.
- Blas-Zamorano, P. de, Montagut-Martínez, P., Pérez-Cruzado, D., Merchan-Baeza, J.A. (2025). Fugl-Meyer Assessment for upper extremity in stroke: a psychometric systematic review. *Journal of Hand Therapy*, 39(1), 22–51, <https://doi.org/10.1016/j.jht.2025.04.004>.
- Calabrò, R.S., Müller-Eising, C., Diliberti, M.L., Manuli, A., Parrinello, F., Rao, G., Barone, V., Civello, T. (2020). Who will pay for robotic rehabilitation? The growing need for a cost-effectiveness analysis. *Innovations in Clinical Neuroscience*, 17(10–12), 14–16.
- Cano-de-la-Cuerda, R., Blázquez-Fernández, A., Marcos-Antón, S., Sánchez-Herrera-Baeza, P., Fernández-González, P., Collado-Vázquez, S., Jiménez-Antona, C., Laguarda-Val, S. (2024). Economic cost of rehabilitation with robotic and virtual reality systems in people with neurological disorders: a systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(6), 1531, <https://doi.org/10.3390/jcm13061531>.
- Cauraugh, J., Light, K., Kim, S., Thigpen, M., Behrman, A. (2000). Chronic motor dysfunction after stroke: recovering wrist and finger extension by electromyography-triggered neuromuscular stimulation. *Stroke*, 31(6), 1360–1364, <https://doi.org/10.1161/01.str.31.6.1360>.
- Esposito, D., Centracchio, J., Andreozzi, E., Gargiulo, G.D., Naik, G.R., Bifulco, P. (2021). Biosignal-based human-machine interfaces for assistance and rehabilitation: a survey. *Sensors*, 21(20), 6863, <https://doi.org/10.3390/s21206863>.
- Garcia, G.F., Gonçalves, R.S., Carbone, G. (2024). A review of wrist rehabilitation robots and highlights needed for new devices. *Machines*, 12(5), 315, <https://doi.org/10.3390/machines12050315>.
- GBD 2021 Stroke Risk Factor Collaborators (2024). Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Neurology*, 2024, 23(10), 973–1003, [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(24\)00369-7](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(24)00369-7).
- Mandeljc, A., Rajhard, A., Munih, M., Kamnik, R. (2022). Robotic device for out-of-clinic post-stroke hand rehabilitation. *Applied Sciences*, 12(3), 1092, <https://doi.org/10.3390/app12031092>.
- Matys-Popiełska, K., Popiełski, K., Sibilska-Mroziewicz, A. (2024). Study of the possibility of using virtual reality application in rehabilitation among elderly post-stroke patients. *Sensors*, 24(9), 2745, <https://doi.org/10.3390/s24092745>.
- Mehrholtz, J., Pohl M., Platz, T., Kugler, J., Elsner, B. (2015). Electromechanical and robot-assisted arm training for improving activities of daily living, arm function, and arm muscle strength after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(11), CD006876, <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006876.pub4>. Update: 2018, 9, CD006876, <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006876.pub5>.
- Prendes, C.F., Rantner, B., Hamwi, T., Stana, J., Feigin, V.L., Stavroulakis, K., Tsilimparis, N.; GBD Collaborators Study Group (2024). Burden of stroke in Eu-

- rope: an analysis of the global burden of disease study findings from 2010 to 2019. *Stroke*, 55(2), 432–442, <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.122.042022>.
- Radajewska, A., Opara, J.A., Kucio, C., Błaszczyszyn, M., Mehlich, K., Szczygiel, J. (2013). The effects of mirror therapy on arm and hand function in subacute stroke in patients. *International Journal of Rehabilitation Research*, 36(3), 268–274, <https://doi.org/10.1097/MRR.0b013e3283606218>.
- Rajashekar, D., Boyer, A., Larkin-Kaiser, K.A., Dukelow, S.P. (2024). Technological advances in stroke rehabilitation: robotics and virtual reality. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 35(2), 383–398, <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2023.06.026>.
- Roth, G.A., Johnson, C., Abajobir, A., Abd-Allah, F., Abera, S.F., Abyu, G. i wsp. (2017). Global, regional, and national burden of cardiovascular diseases for 10 causes, 1990 to 2015. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(1), 1–25, <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.04.052>.
- Sarhan S.M., Al-Faiz M.Z., Takhakh A.M. (2023). A review on EMG/EEG based control scheme of upper limb rehabilitation robots for stroke patients. *Heliyon*, 9(8), e18308, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18308>.
- Shah, S., Vanclay, F., Cooper, B. (1989). Improving the sensitivity of the Barthel Index for stroke rehabilitation. *Journal of Clinical Epidemiology*, 42(8), 703–709, [https://doi.org/10.1016/0895-4356\(89\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0895-4356(89)90065-6).
- Susło, A., Belovičová, M., Mizia, S. (2023). Modern technologies for improving elderly patients' compliance. *Family Medicine and Primary Care Review*, 25(4), 466–471, <https://doi.org/10.5114/fmpcr.2023.132623>.
- Tanczak, N., Plunkett, T.K., Lin, S., Kuenzler, L., Lau, M., Kuah, W.K.C., Ng, C.Y., Gassert, R., Chua, K., Lamercy, O. (2025). Feasibility of post-stroke hand rehabilitation supported by a soft robotic hand orthosis in-clinic and at-home. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 22(1), 183, <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01717-6>.
- Vidmar, T., Kregar, N.G., Puh, U. (2023). Reliability of the modified Ashworth scale after stroke for 13 muscle groups. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 104(10), 1606–1611, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.04.008>.
- Wissel, J., Manack, A., Brainin, M. (2013). Toward an epidemiology of post-stroke spasticity. *Neurology*, 80(3 Suppl 2), 13–19, <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182762448>.
- Zeng, H., Chen, J., Guo, Y., Tan, S. (2021). Prevalence and risk factors for spasticity after stroke: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Neurology*, 11, 616097, <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.616097>.
- Zhou, L., Zhang, B., Kang, R., Wang, Y., Qin, J., Xiao, Q., Hui, V. (2025). Efficacy of the conventional rehabilitation robot and bio-signal feedback-based rehabilitation robot on upper-limb function in patients with stroke: a systematic review and network meta-analysis. *NeuroRehabilitation*, 57(2), 169–180, <https://doi.org/10.1177/10538135251366668>.

ABSTRACT

Effectiveness and safety of robot-assisted therapy
in upper limb neurorehabilitation following stroke

Introduction. The study was designed to evaluate the effectiveness and safety of a four-week robot-assisted therapy using the Balonikotron system in improving upper limb function and patient independence following stroke. **Material.** The study included 12 patients following ischaemic stroke (9 men and 3 women) aged 47–84 years (67.4 ± 10.4 years). The time since stroke was 3 weeks – 60 months. Patients were randomly assigned to two groups: an experimental group ($n = 6$) and a control group ($n = 6$). All participants underwent a four-week rehabilitation programme consisting of 20 sessions of wrist extension training supported by a pneumatic device. **Methods.** Assessment was conducted before and after the intervention. Motor function was assessed using the FMA-UE scale, spasticity was measured with the MAS, and independence was evaluated using the Barthel Index. Descriptive statistics were used, alongside the Wilcoxon signed-rank test, Cohen's coefficient and Spearman's rank correlation ($p \leq 0.05$). **Results.** The experimental group demonstrated a significant improvement in upper limb function and functional independence, accompanied by a large effect size ($d = 1.25$ – 1.57). No significant changes were observed in the control group. **Conclusions.** Robot-assisted therapy was found to be both effective and safe, resulting in a significant improvement in upper limb function and patient independence following stroke.

Keywords: stroke, robotics, upper limb, neurorehabilitation

Adres do korespondencji

e-mail: aleksandra.olejniczak2@stud.umed.lodz.pl

OLIWIER RACHUDAŁA¹, MICHALINA FRANKIEWICZ¹,
KLAUDIA MAREK², ELŻBIETA MILLER², YOSHIFUMI MORITA³,
KAZUYA TOSHIMA^{3,4}, IGOR ZUBRYCKI⁵

¹ Studenckie Koło Naukowe Neurorehabilitacji,
Uniwersytet Medyczny w Łodzi

² Klinika Rehabilitacji Neurologicznej, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

³ Instytut Technologii Nagoya, Nagoja, Japonia

⁴ Szpital Rehabilitacyjny Kaikoukai, Nagoja, Japonia

⁵ Instytut Automatyki, Politechnika Łódzka

NOWOCZESNE FORMY REHABILITACJI A PSYCHOFIZYCZNE ASPEKTY POWROTU DO SPRAWNOŚCI FUNKCJONALNEJ U PACJENTÓW PO UDARZE MÓZGU. ANALIZA NA PRZYKŁADZIE URZĄDZENIA IWAKKA

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena wpływu nowoczesnych technologii na psychofizyczne aspekty powrotu do sprawności pacjentów po udarze mózgu.

Materiał. W badaniach wzięło udział 12 osób w wieku 47–82 lat (7 kobiet, 5 mężczyzn) po udarze mózgu w fazie podostrej. Badani wykazywali zaburzenia motoryczne kończyny górnej oraz spastyczność. **Metody.** Pacjenci odbyli w ciągu 2 tygodni trzy sesje terapeutyczne z użyciem innowacyjnego urządzenia iWakka, które wykorzystuje biofeedback wspierający procesy neuroplastyczne mózgu oraz wibrację mechaniczną wpływającą na zmniejszenie wzmożonego napięcia mięśniowego. Do oceny zastosowano skalę motywacji MORE, kwestionariusz dotyczący nowoczesnych technologii i urządzenia iWakka, skalę bólu VAS oraz skalę funkcjonalne mRS i Barthel Index. **Wyniki.** Po terapii wynik w skali motywacji MORE mieścił się w przedziale 94–116 pkt (na 119 pkt). Średnia ocena podejścia pacjentów do nowoczesnych metod terapeutycznych wyniosła 9,16/10 pkt. Badani (100%) zadeklarowali, że iWakka jako nowoczesna technologia działa na nich motywująco i wyrazili chęć kontynuowania rehabilitacji. Aż 83,3% wskazało na potencjalnie wyższą skuteczność nowoczesnych metod nad tradycyjnymi. Średnia ocena poziomu bólu (VAS) zmniejszyła się z 2,36 do 1,45 pkt. Po interwencji odnotowano istotną poprawę funkcjonalną w skali mRS (średnia 3,00 przed interwencją i 2,36 po interwencji; $p = 0,014$) oraz skali Barthel (średnia 52,73 przed interwencją, 70,45 po interwencji; $p < 0,001$). **Wnioski.** Potwierdzono wysoką motywację oraz pozytywne nastawienie pacjentów po udarze mózgu do innowacyjnych form terapii. Odnotowano pozytywny wpływ interwencji na poprawę niezależności funkcjonalnej, poziomu niepełnosprawności i redukcję bólu kończyny górnej. Zachodzi konieczność rozwijania i wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych jako wartościowego uzupełnienia tradycyjnych metod usprawniania.

Słowa kluczowe: wibroterapia, nowoczesne technologie, udar mózgu, neurorehabilitacja

WPROWADZENIE

Udar mózgu jest definiowany jako nagłe wystąpienie zaburzeń czynnościowych mózgu o podłożu naczyniowym i stanowi obecnie jeden z największych problemów zdrowotnych w skali globalnej. Uznaje się go za jedną z najczęstszych przyczyn zgonu oraz trwałej niepełnosprawności na świecie (Gunduz, 2023), przy czym w Europie stanowi jeden z głównych czynników niepełnosprawności młodych dorosłych (Kwakkel, 2023). Badania donoszą o pilnej potrzebie optymalizacji aktualnych modeli terapeutycznych, zwłaszcza w przypadku pacjentów wymagających długofalowej opieki medycznej (Sarżyńska-Długosz, 2023). W sferze klinicznej do najczęstszych konsekwencji udaru zaliczają się deficyty motoryczne przejawiające się znacznym spadkiem siły mięśniowej oraz niedowładem połowicznym, w tym niedowładem spastycznym kończyn prowadzącym do znacznego ograniczenia ruchomości (Rocha, 2025). Wzmożone napięcie mięśniowe może skutkować wyższymi wartościami wskaźnika bólu oraz pogorszeniem funkcji motorycznych i samoobsługi (Wang, 2025). Długotrwała spastyczność negatywnie wpływa także na zdrowie psychiczne pacjentów, wywołując u nich lęk, depresję i bezsenność (Wieters, 2021). Skala problemu uwidacznia się przede wszystkim w odniesieniu do funkcji lokomotorycznych. Zaburzenia funkcji motorycznych w kończynie górnej istotnie odbijają się na funkcjonowaniu pacjentów w życiu codziennym. Starosta i wsp. (2017) wskazują na istotny spadek siły mięśniowej kończyny górnej u pacjentów po udarze mózgu. Zdaniem autorów obniżenie siły w kończynie objętej niedowładem w porównaniu z kończyną sprawniejszej wyniosło średnio 39%. Do najbardziej osłabionych grup mięśni należały zginacze stawu ramiennego, rotatory zewnętrzne stawu ramiennego oraz prostowniki nadgarstka (Starosta i wsp., 2017). Opisane dysfunkcje prowadzą do nieprawidłowego wykonywania ruchów, co dodatkowo utrudnia naukę chwytu – kluczowego w codziennym funkcjonowaniu. Osoby po udarze mózgu w stanie przewlekłym oraz zespoły badawcze poszukują coraz bardziej skutecznych form rehabilitacji ze względu na pojawiające się po pewnym czasie zjawisko „plateau recovery” (fazy stabilizacji postępów). Spowolnienie tempa poprawy funkcjonalnej nie jest nagłe, lecz postępuje stopniowo i rozpoczyna się stosunkowo wcześnie. W przypadku ciężkiego niedowładu spowolnienie poprawy może pojawić się już w 15. tygodniu od wystąpienia choroby. Ballester i wsp. (2019) wskazują, że w kontekście stanu przewlekłego okno krytyczne dla terapii trwa średnio do 18 miesięcy, a po tym czasie tempo zmian spada do około 1,4% z każdym tygodniem.

Niezwykle istotnym aspektem powrotu do zdrowia, a zarazem fundamentem współczesnej neurorehabilitacji, jest pojęcie neuroplastyczności definiowanej jako zdolność mózgu do ulegania trwałym zmianom strukturalnym i zarazem funkcjonalnym pod wpływem bodźców zewnętrznych oraz powtarzalnych doświadczeń (Mikołajewska i Mikołajewski, 2012). Ognisko udarowe nie ogranicza się tylko do miejsca, w którym doszło do zawału, ponieważ ze względu na diaschinezę uszkodzenie w jednym regionie mózgu wpływa na pobudliwość neuronów i doprowadza do zaburzenia funkcji w jego odległych strukturach. Sprzyja to rozprzestrzenianiu się patologicznych reakcji, co utrudnia globalną reakcję, która ma na celu reorganizację sieci neuronalnej (Sandvig, 2018). W obliczu uszkodzeń mózgu neuroplastyczność znacząco wspiera reorganizację sieci neuronalnych, odpowiadając za wytworzenie mechanizmów kompensacyjnych oraz procesy neurogenezy dzięki dostarczaniu nowym bodźcom i powtarzalności (Kleim i Jones 2008). Umożliwia to przejęcie zadań, za które były odpowiedzialne uszkodzone struktury, przez te, które pozostały nienaruszone podczas incydentu udarowego, co z kolei stanowi element niezbędny do odzyskania utraconej kontroli motorycznej i normalizacji napięcia mięśniowego. Z perspektywy fizjoterapii proces ten jest ściśle powiązany z reedukacją motoryki. Podczas gdy brak ruchu lub jego nieprawidłowe wzorce mogą pogłębiać procesy neurodegeneracyjne, systematyczna rehabilitacja oparta na zasadach biofeedbacku dostarcza precyzyjnych informacji zwrotnych koniecznych w procesie usprawniania pacjenta (Shumway-Cook i Woollacott, 2007). Ważnym parametrem pozwalającym na wytworzenie trwałych zmian w przywracaniu funkcji motorycznych jest objętość i powtarzalność ćwiczeń.

Rehabilitacja z użyciem robotyki, wzmocniana wirtualną rzeczywistością, przynosi obiecujące wyniki w osiąganiu poprawy funkcji u pacjentów po udarze mózgu (Bertani, 2017). Robotyka w terapii pozwala na wprowadzenie dużej liczby powtórzeń, zmiany intensywności wysiłku oraz zaplanowanie różnorodnych treningów ukierunkowanych na angażujące zadania. Najnowsze badania sugerują, że terapia z wykorzystaniem robotów, w czasie której celowo dopuszcza się popełnianie błędów, może dawać lepsze efekty niż tradycyjna terapia koncentrująca się na ich korygowaniu, zwłaszcza w rehabilitacji kończyn górnych. Aghamohammadi i wsp. (2025) podkreślają, że popełnianie błędów jest nieodłączną cechą człowieka, a uczenie się na nich wymaga doświadczenia, które pozwala osiągać więk-

szą poprawę wyników. Yin i Kitazawa (2001) w badaniach przeprowadzonych na naczelnych podkreślają, że pierwsze krótkotrwałe efekty nauki zachodzą już po około 50 powtórzeniach, gdyż pojawiają się wtedy efekty następne. Efekty długotrwałe, które są istotne z punktu widzenia pacjentów neurologicznych, mogą nastąpić dopiero po około 500 powtórzeniach. Aby zapis ruchu pozostał w pamięci długotrwałej, konieczne jest regularne powracanie do ćwiczenia i utrwalanie go, ponieważ po wykonaniu 500 powtórzeń efekt może utrzymywać się do 72 godzin od ukończenia zadania. Zachodzi zatem potrzeba codziennego powtarzania ćwiczeń (Yin i Kitazawa, 2001).

Wdrażanie nowoczesnych form rehabilitacji umożliwia wielokrotne, poprawne powtarzanie danego zadania bez jednoczesnego spadku koncentracji pacjenta na wykonywanej czynności. Tego typu metody są więc kluczowym elementem stymulującym plastyczność mózgu (Lang, 2007). Zastosowanie stałej wysokiej intensywności bodźca zewnętrznego dostosowanego do specyfiki pacjenta umożliwia przełamanie barier funkcjonalnych i sprzyja wywołaniu stałych zmian w ośrodkowym układzie nerwowym (Kleim i Jones, 2008). Pomimo intensywnych wysiłków zespołów medycznych, w tym fizjoterapeutów, przywrócenie pełnego zakresu funkcji motorycznych u pacjentów po przebytych udarach mózgu jest jednym z największych wyzwań. Klasyczne modele rehabilitacji, choć są niezbędne, mają pewne ograniczenia w postaci braku obiektywnej oceny postępów, trudności w zapewnieniu odpowiedniej liczby powtórzeń niezbędnych do stymulacji ośrodkowego układu nerwowego oraz możliwości wywołania efektu monotonii, co bezpośrednio wpływa na motywację pacjenta (Lang, 2007).

Ze względu na przedstawione trudności coraz częściej sięga się w rehabilitacji po rozwiązania z zakresu nowoczesnych technologii. Pewnym wyzwaniem może być tu skomplikowana obsługa urządzenia lub wysoki koszt ich zakupu. Przykładem nowoczesnego toku usprawniania pacjenta przy zachowaniu precyzji pomiarowej jest wykorzystanie specjalistycznego, mobilnego urządzenia iWakka z łatwym w obsłudze interfejsem działającym na zasadach biofeedbacku (ryc. 1) (Morita i wsp., 2024). Służy ono do ilościowego pomiaru reedukacji motorycznej, pozwalając na precyzyjną analizę ruchów ręki, ze szczególnym uwzględnieniem funkcji chwytnej. Właściwości tego typu rozwiązań znajdują zastosowanie w neurorehabilitacji (Kaneno i wsp., 2017).



Rycina 1. Urządzenie iWakka obsługiwane przez pacjenta

CEL BADAŃ

Głównym celem badań była ocena wpływu krótkotrwałej terapii rehabilitacyjnej z wykorzystaniem urządzenia iWakka na poziom motywacji do ćwiczeń oraz na zmiany w subiektywnej ocenie bólu i niezależności funkcjonalnej u pacjentów po przebytym udarze mózgu.

Problem badawczy koncentrował się na ocenie zmian w wybranych psychofizycznych aspektach rehabilitacji u pacjentów po udarze mózgu poddanych kompleksowej rehabilitacji neurologicznej w ramach hospitalizacji, u których dodatkowo zastosowano trzy sesje terapeutyczne z użyciem urządzenia iWakka. Analizie poddano zmiany w motywacji do ćwiczeń, postawę wobec nowoczesnych technologii, subiektywną ocenę bólu oraz poziom niezależności funkcjonalnej.

MATERIAŁY I METODY

Projekt badawczy został zatwierdzony przez Komisję Etyczną Kaiyukai Medical Corporation (nr zatwierdzenia 2025-1) oraz Komisję Etyczną Nagoya Institute of Technology (nr zatwierdzenia 2025-6).

Osoby badane

Badaniom poddano 12 osób (7 kobiet i 5 mężczyzn) w wieku 47–82 lat po przebytych udarze mózgu krwotocznym ($n = 2$) i niedokrwinnym ($n = 10$). Po przyjęciu do placówki medycznej pacjenci zostali poddani badaniu za pomocą skali mRS oraz skali Barthel. Uczestnicy projektu wyrazili dobrowolną, świadomą zgodę na udział w nim. Kryterium włączenia był niedowład spastyczny kończyny górnej przy zachowanej zdolności do chwytu cylindrycznego umożliwiającego utrzymanie urządzenia. Badani musieli dodatkowo przejść test „bramki kontrolnej” polegający na utrzymaniu w dłoni danych przedmiotów, które próbowano im odebrać. Z badań wykluczono pacjentów, którzy nie przeszli tego testu.

Metody

Projekt badawczy realizowano w ramach wieloletniej polsko-japońskiej współpracy naukowej między Kliniką Rehabilitacji Neurologicznej Uniwersytetu Medycznego w Łodzi a Nagoya Institute of Technology i uzyskał akceptacje właściwych komisji etycznych strony japońskiej. Badania odbywały się w Oddziale Rehabilitacji Neurologicznej Miejskiego Centrum Medycznego im. dr. Karola Jonschera w Łodzi. Przeprowadzono je po uzyskaniu zgody ordynatora oddziału. Badania miały charakter obserwacyjny, a zastosowana interwencja – charakter uzupełniający. Realizowano ją w ramach rutynowego procesu rehabilitacji neurologicznej podczas hospitalizacji, bez ingerencji w standard postępowania klinicznego. Badanych poddano ćwiczeniom, podczas których wykorzystywali oni urządzenie iWakka (ryc. 1). System składa się z trzech połączonych elementów: ergonomicznego urządzenia do chwytania (siłę chwytu w zakresie 0–0,5 kg monitorowano poprzez pomiar odkształcenia elementu chwytanego urządzenia generującego sygnał cyfrowy), skrzyni sterowniczej odpowiedzialnej za wzmocnienie sygnału i przesyłanie informacji dotyczących siły nacisku oraz iPada stanowiącego urządzenie końcowe wyświetlające interfejs z zadaniem terapeutycznym. Urządzenie służące do chwytu przypomina kształtem puszkę o pojemności 330 ml. Na ekranie widać linię celu oraz wskaźnik odpowiedzialny za monitorowanie aktualnej siły chwytu (Toshima i wsp., 2025). Zadaniem pacjenta jest dostosowywanie nacisku w taki sposób, aby wskaźnik pokrywał się z wyznaczoną trasą.

Terapia opierała się na dwóch rodzajach zadań: zadaniu losowym, wymagającym od pacjenta stałego skupienia na bodźcu i sprawdzającym przy tym zdolność do reakcji i uwagi zewnętrznej, oraz zadaniu powtarzalnym, koncentrującym się na uwadze wewnętrznej oraz zdolności do zapamiętywania wzorców ruchowych, co bezpośrednio wpływa na ich stymulację. Urządzenie generowało trzy rodzaje wibracji mechanicznej o częstotliwościach: 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz (Morita i wsp., 2024). Zmiany siły ścisku odpowiadały za ułożenie kursora wyświetlanego na interfejsie w następujący sposób: siła wzmożona odpowiadała za poruszenie kursorem w górę, spadek siły ścisku był odpowiedzialny za obniżenie wysokości kursora, natomiast utrzymanie siły ścisku pozwalało utrzymać poziom kursora na wyświetlanym interfejsie.

Przed rozpoczęciem pomiaru badani przechodzili test bramki kontrolnej oraz test siły ścisku polegający na utrzymaniu w dłoni kolejno: piłeczki do tenisa, kleju w sztyfcie oraz długopisu. Każdy pacjent został poddany próbie testowej w celu nauczania się obsługi urządzenia oraz dopasowania siły ścisku do ruchów kursora. Urządzenie działało w różnych trybach wibracji, a przydział częstotliwości (50 Hz, 100 Hz, 200 Hz) przeprowadzono metodą randomizacji. Pojedyncza sesja obejmowała przejście sześciu segmentów o dwóch wzorach linii (po trzy z każdego wzorca). Badani obsługiwali urządzenie trzykrotnie, za każdym razem na innej częstotliwości wibracji mechanicznej (Morita i wsp., 2024).

W celu zobiektywizowania motywacji pacjentów zastosowano skalę MORE. Jest to standaryzowane narzędzie badawcze zawierające 17 pytań ocenianych w siedmiostopniowej skali typu Likerta (Yoshida i wsp., 2022). Kwestionariusz umożliwia analizę motywacji w dwóch kluczowych wymiarach:

- czynniki osobiste: indywidualne cele pacjenta oraz ocena stanu fizycznego, psychicznego, poznawczego;
- czynniki społeczne: relacje z innymi pacjentami oraz personelem medycznym.

Wyniki uzyskane w skali MORE przedstawiono jako medianę oraz odchylenie standardowe (*SD*) (tab. 1). Badani wyrażali zgodność swoich przekonań z podanymi stwierdzeniami, używając odpowiedzi ze skali, gdzie 1 oznaczało zdecydowany brak zgody z podanym stwierdzeniem, 4 – „nie mam zdania”, a 7 – „zdecydowanie się zgadzam”.

Tabela 1. Ocena poziomu motywacji badanych według skali MORE

Twierdzenie	Mediana	$\bar{x} \pm SD$
Chcę uczestniczyć w rehabilitacji, aby osiągnąć swoje cele.	6,00	$6,17 \pm 0,55$
Nie chcę zostać wypisany ze szpitala, dopóki nie osiągnę celów powrotu do zdrowia.	6,00	$5,58 \pm 1,44$
Chcę trenować, żeby odzyskać należną mi rolę w domu i społeczeństwie.	7,00	$6,67 \pm 0,47$
Potrafię podjąć wysiłek, aby osiągnąć swój cel.	6,50	$6,67 \pm 0,75$
Chcę ciężko pracować, aby sprostać oczekiwaniom moich terapeutów.	7,00	$6,25 \pm 0,92$
Chcę wykorzystać umiejętności, które odzyskałam/łem dzięki rehabilitacji, w życiu codziennym.	6,00	$6,25 \pm 0,83$
Codziennie dzielę się z moim terapeutą swoimi dziennymi celami dotyczącymi ćwiczeń.	6,00	$6,08 \pm 0,86$
Zmiany w codziennych planach rehabilitacyjnych motywują mnie do większego zaangażowania.	6,00	$5,83 \pm 0,98$
Dodawały mi otuchy wysiłki innych pacjentów.	6,00	$5,75 \pm 1,36$
Chcę wziąć udział w rehabilitacji dla dobra moich przyjaciół i rodziny.	6,50	$6,18 \pm 0,94$
Czuję, że funkcje mojego ciała (np. ruch) poprawiają się z dnia na dzień.	7,00	$5,75 \pm 1,75$
Chciałbym kontynuować ćwiczenia, aby odzyskać zdolność wykonywania utraconych/niewykonywanych codziennych czynności.	7,00	$6,67 \pm 0,62$
Chcę wypróbować kilka różnych ćwiczeń/praktyk.	6,00	$6,33 \pm 0,62$
Chcę poddać się rehabilitacji, nawet jeśli będę odczuwać ból i/lub odrętwienie.	7,00	$6 \pm 1,35$
Chcę trenować samodzielnie, oprócz standardowych treningów pod nadzorem.	6,50	$6 \pm 1,22$
Myślę, że muszę aktywnie uczestniczyć w rehabilitacji.	7,00	$6,58 \pm 0,49$
Uważam, że rehabilitacja jest niezbędna w powrocie do zdrowia po chorobach i niepełnosprawnościach.	7,00	$6,83 \pm 0,37$

Ocena

Przed rozpoczęciem sesji terapeutycznych z urządzeniem iWakka u pacjentów przeprowadzono ocenę subiektywnego odczucia bólu za pomocą skali VAS. Po zakończonej rehabilitacji z urządzeniem badani mieli za zadanie uzupełnić autorski kwestionariusz obejmujący ankietę dotyczącą urządzenia zawierającą 11 pytań (tab. 2) oraz skalę MORE (tab. 1) dotyczącą motywacji. Zostali także poddani ponownej ocenie odczuwanego bólu za pomocą skali VAS (tab. 3). Skala MORE, opracowana przez Yoshida i wsp. (2022), jest stosunkowo nowym narzędziem. Kwestionariusz obejmuje ocenę czynników osobistych i społecznych, umożliwiając kompleksową analizę motywacji pacjentów neurologicznych do rehabilitacji. Skala została wcześniej poddana procesowi walidacji i wykazała dobrą trafność w populacji pacjentów po udarze mózgu (Yoshida i wsp., 2022). Wyróżnione w niej dwa kluczowe czynniki wpływają zarówno na poziom motywacji pacjentów do ćwiczeń, jak też na treść motywowanej zmiany zachowania (Yoshida i wsp., 2022).

Analiza statystyczna

Ze względu na niewielką liczebność badanej grupy oraz charakter analizowanych zmiennych do analizy danych wykorzystano metody nieparametryczne. Do oceny różnic między wynikami przed interwencją i po interwencji dla skali mRS oraz skali Barthel zastosowano test Wilcoxona. Zmiany w zakresie natężenia bólu ocenianego za pomocą skali VAS analizowano opisowo, posługując się wartościami średnimi oraz rozkładem odpowiedzi przed interwencją i po interwencji. Dane ze skali MORE zostały opisane za pomocą mediany oraz średniej ważonej, wyniki autorskiego kwestionariusza interpretowano przy użyciu liczebności (n) i odsetków (%).

WYNIKI

Analiza testu rang podpisanych Wilcoxona wykazała istotną statystycznie poprawę funkcjonalną w skali mRS ($p = 0,014$) oraz skali Barthel ($p < 0,001$). Dodatkowo różnice średnich przed interwencją i po interwencji wskazały na istotną statystycznie poprawę funkcjonalną badanych pacjentów.

Tabela 2. Podejście badanych do nowoczesnych technologii w rehabilitacji (na podstawie autorskiego kwestionariusza)

Numer	Pytanie	Wynik (pkt)/ rozkład odpowiedzi (%)
1	Czy stosował/a już Pan/Pani wcześniej inne formy nowoczesnej rehabilitacji?	2 – tak (16,6%) 10 – nie (83,3%)
2	Jakie jest Pana/Pani podejście do nowoczesnych form rehabilitacji (skala 1–10, gdzie 1 to odpowiedź negatywna, a 10 odpowiedź pozytywna)	9,16
3	Czy uważa Pan/Pani, że warto urozmaicić program szpitalny o nowe formy rehabilitacji, takie jak urządzenie iWakka?	8 – zdecydowanie tak (66,6%) 4 – raczej tak (33,3%)
4	Czy nowa forma rehabilitacji, taka jak urządzenie iWakka, jest dla Pana/Pani ciekawą alternatywą dla tradycyjnych form ćwiczeń	8 – zdecydowanie tak (66,6%) 4 – raczej tak (33%)
5	Czy zastosowanie iWakka jako urozmaicenia szpitalnego programu rehabilitacji wpływa na Pana/Panią motywująco?	12 – tak (100%)
6	Jak Pan/Pani ocenia trudność korzystania z urządzenia iWakka?	5 – raczej trudne (41,6 %) 2 – nie mam zdania (16,6%) 5 – raczej łatwe (41,6%)
7	Jak Pan/Pani ocenia swoje zadowolenie z rehabilitacji z wykorzystaniem iWakka?	11 – zadowolony/a (92%) 1 – bardzo zadowolony/a (8%)
8	Jak Pan/Pani ocenia skuteczność nowoczesnych form rehabilitacji względem tradycyjnych form rehabilitacji?	4 – „uważam, że mają większą skuteczność” (33,3%) 6 – „uważam, że mogą mieć większą skuteczność” (50%) 2 – „uważam, że mają taką samą skuteczność” (16,6%)
9	Czy czuł/a się Pan/Pani odpowiednio przeszkolony/a przed rozpoczęciem terapii urządzeniem iWakka?	10 – tak (83,3%) 2 – nie (16,6%)
10	Czy byłby/byłaby Pan/Pani zainteresowany/a kontynuowaniem rehabilitacji urządzeniem iWakka?	6 – zdecydowanie tak (50%) 6 – raczej tak (50%)
11	Jak bardzo jest Pan/Pani zadowolony/a z korzystania z urządzenia iWakka? (skala 1–10, gdzie 1 to odpowiedź negatywna, a 10 odpowiedź pozytywna)	8,95

Średni wynik dla poszczególnych twierdzeń kwestionariusza oscylował w okolicy 6,23 pkt (gdzie 7 oznacza wynik maksymalny). Najwyższe wartości uzyskały dwa twierdzenia: nr 3, mówiące o potrzebie rehabilitacji w procesie odzyskiwania należytej roli zarówno w domu, jak i społeczeństwie (średnio 6,6 pkt), oraz nr 17, mówiące o potrzebie rehabilitacji w procesie powrotu do zdrowia (6,83 pkt). Wysokie średnie zauważono również w przypadku twierdzenia nr 14, dotyczącego poddawania się rehabilitacji mimo odczuwanego bólu (6 pkt), oraz nr 13, w którym pacjent wyrażał chęć wypróbowania kilku różnych ćwiczeń/praktyk (6,33 pkt). Przedział punktacji uzyskany przez pacjentów w skali MORE mieścił się w zakresie od 94 do 116 pkt (badany mógł maksymalnie otrzymać 119 pkt).

Na kolejnym etapie przeprowadzono analizę stopnia subiektywnie odczuwanego bólu wśród pacjentów, wykorzystując skalę wizualnoanalogową (VAS) (tab. 3). Kolumny zawierają liczebność badanych zgłaszających określony poziom bólu, sklasyfikowany według poziomu subiektywnej oceny odczuwanego bólu mierzonego w skali VAS. Średnia przed interwencją wyniosła 2,36 pkt, a po interwencji 1,45 pkt.

Dokonano również analizy stopnia sprawności funkcjonalnej za pomocą skali mRS oraz skali Barthel przed interwencją i po interwencji.

Tabela 3. Subiektywna ocena odczuwanego bólu (VAS)

Stopień subiektywnej oceny odczuwanego bólu	Pierwszy pomiar (<i>n</i>)	Drugi pomiar (<i>n</i>)
VAS 0	1	1
VAS 1	1	5
VAS 2	3	4
VAS 3	5	1
VAS 4	1	0
$\bar{x}$	2,36	1,45

Tabela 4. Ocena sprawności funkcjonalnej

Skala	Przed interwencją (T1) $\bar{x} \pm SD$	Po interwencji (T2) $\bar{x} \pm SD$	$\Delta T2-T1$ $\bar{x}$
mRS	3,00 $\pm$ 0,00	2,45 $\pm$ 0,50	-0,54
Barthel	52,73 $\pm$ 4,67	69,10 $\pm$ 8,74	16,36

Obliczono różnicę między ostatnim (T2) a pierwszym (T1) pomiarem celem sprawdzenia poprawy (Δ T2–T1 dla średniej). Po interwencji zaobserwowano poprawę sprawności funkcjonalnej pacjentów. W skali mRS odnotowano spadek średniego wyniku z 3,00 do 2,45 (Δ T2–T1 = 0,54), co wskazuje na wzrost stopnia sprawności. W skali Barthel odnotowano wzrost średniej wartości (Δ = 16,36), co również świadczy o wzroście samodzielności badanych w wykonywaniu czynności dnia codziennego (tab. 4).

DYSKUSJA

Motywacja pacjenta jest ważnym czynnikiem prognostycznym wpływającym na wyniki rehabilitacji (Calabrò i wsp., 2017). Maggio i wsp. (2019) wykazali, że wyższy poziom motywacji pacjenta w trakcie rehabilitacji istotnie koreluje z lepszymi wynikami funkcjonalnymi (funkcje wykonawcze, mowa i funkcje językowe, pamięć, chód i równowaga, zdolności wzroko-przestrzenne), zwłaszcza w terapii z użyciem elementów wirtualnej rzeczywistości. Nowoczesne technologie w rehabilitacji pozwalają tworzyć atrakcyjniejsze i bardziej angażujące środowisko do ćwiczeń, co sprzyja poprawie samopoczucia psychicznego pacjentów. Większe zaangażowanie w rehabilitację pozytywnie wpływa na ich funkcje poznawcze i ruchowe (Maggio i wsp., 2019). Wyniki badań własnych umożliwiły dokonanie wielowymiarowej oceny skuteczności podjętej interwencji z wykorzystaniem urządzenia iWakka jako przykładu nowoczesnej technologii w rehabilitacji. Wysoka motywacja pacjentów, według wyników skali MORE (średnia 6,23/7 pkt w poszczególnych twierdzeniach oraz przedział 94–116/119 pkt), znajduje odzwierciedlenie w podejściu badanych do nowoczesnych metod rehabilitacji. Wysokie wyniki uzyskane w twierdzeniach nr 3 i nr 17 wskazują na rozumienie przez badanych procesu terapeutycznego, który może w znaczący sposób przyczynić się do funkcjonalnego powrotu do życia w społeczeństwie oraz osiągnięcia postawionych sobie celów. Mimo że aż 83,3% badanych nie miało wcześniej kontaktu z nowoczesną rehabilitacją, tego typu rozwiązania zostały przez nich ocenione niemalże maksymalnie (9,16/10 pkt). Oznacza to, że motywacja pacjentów, w tym chęć powrotu do zdrowia oraz możliwość odzyskania dotychczasowej roli w społeczeństwie, przekładała się na postrzeganie nowoczesnych rozwiązań jako elementu dającego możliwość szybszego powrotu do zdrowia. Jest to istotna obserwacja z punktu widzenia zjawiska wykluczenia cyfrowego obejmującego dużą grupę osób starszych w Polsce. Według danych

udostępnionych przez Eurostat w 2024 r. aż 82% osób w wieku 55–74 lat wykazuje niski poziom kompetencji cyfrowych. U uczestników badań własnych, którzy reprezentowali przedział wiekowy 47–82 lat, sprawdzono stosunek do nowych technologii: korzystania z urządzeń dotykowych z dostępem do Internetu w warunkach szpitalnych. Kluczowym punktem w autorskim kwestionariuszu było pytanie o bezpośrednie, motywujące oddziaływanie nowoczesnych form na pacjentów po przebytych udarach. Uzyskane wyniki mogą wskazywać na potencjalną skuteczność wdrażania innowacyjnych metod rehabilitacji (takich jak iWakka).

Za pomocą nowej skali MORE, stworzonej i zweryfikowanej pod kątem populacji chorych po udarze mózgu (Yoshida i wsp., 2022) i opierającej się na subiektywnych odczuciach pacjenta, a nie wyłącznie na obserwacji badaczy, oceniono poziom motywacji osób poddanych badaniom w projekcie własnym. Ankietowani udzielili pozytywnej (twierdzącej) odpowiedzi w kontekście motywacji. Skala MORE pozwoliła wykazać wysoką bazową motywację u badanych. Należy jednak pamiętać, że duża motywacja bez odpowiedniej systematyczności i intensywności może ulec osłabieniu w razie braku różnorodności w prowadzonej rehabilitacji. Pytanie nr 5 pokazuje, że urządzenie nie tylko wykorzystuje gotowość pacjenta do podejmowania rehabilitacji, lecz skutecznie tę gotowość podtrzymuje poprzez angażowanie go, skupianie jego uwagi oraz działanie na zasadzie biofeedbacku. Wysoki wskaźnik motywacji wywołany urządzeniem łączy deklarowaną chęć do ćwiczeń z niwelowaniem ryzyka związanego z ewentualnym „znużeniem” procesem rehabilitacji. Znaczna większość pacjentów uważała, że nowoczesne formy rehabilitacji „mają większą skuteczność” lub że „mogą mieć większą skuteczność” od tradycyjnych, znanych im form. Wprowadzenie nowoczesnych metod jako urozmaicenia terapii może zatem kształtować u pacjenta poczucie lepszej opieki, a co za tym idzie – wspierać jego motywację i przekładać się na postępy w procesie usprawniania. Podejmując temat trudności korzystania z urządzenia (pytanie nr 6), uzyskano informację, że połowa ankietowanych uznała obsługę urządzenia za trudną. Wynik ten – w świetle skali MORE wskazującej na wysoką motywację – nabiera innego znaczenia. Stawianie pacjentom nowych wyzwań może paradoksalnie wzmacniać w nich chęć korzystania z technologii i stymulować proces usprawniania (Yoshida i wsp., 2022). Mimo początkowych trudności wszyscy badani zdecydowali się kontynuować leczenie. U pacjentów o wysokim wskaźniku motywacyjnym trudność zadania nie wywołała frustracji, która mogłaby przełożyć się na demotyację, a w

następstwie na niechęć do podtrzymywania terapii, lecz jest w pełni akceptowana jako niezbędny element procesu usprawniania. Wyniki badań własnych potwierdzają obserwacje Fasano i wsp. (2025), których zdaniem roboty rehabilitacyjne nie są rozwiązaniem odpowiednim dla każdego pacjenta, a ich akceptacja ma indywidualny charakter. Wprowadzając różne technologie do środowiska terapeutycznego, należy w początkowym okresie terapii zapewnić pacjentom stałą obecność fizjoterapeutów, tak aby umożliwić stopniowe oswajanie się z nowymi urządzeniami, ich obsługa może bowiem sprawiać trudność osobom, które nie korzystały z podobnej technologii, a pacjenci neurologiczni dodatkowo często zgłaszają bariery psychologiczne: lęk, niepokój czy brak zaufania do nowoczesnych urządzeń (Fasano, 2025).

Wyniki otrzymane w skali MORE informują o dużej chęci pacjentów do urozmaicenia procesu usprawniania, czego doskonałym przykładem jest wprowadzenie do terapii nowoczesnej formy rehabilitacji (w tym przypadku urządzenia iWakka). Wszyscy ankietowani jednogłośnie stwierdzili, że wprowadzenie nowych technologii do procesu usprawniania, jako urozmaicenia terapii, jest istotnym elementem. Wyniki sugerują, że rozwiązania z wykorzystaniem zasad biofeedbacku oraz samorywalizacji korzystnie wpływają na zmniejszenie zjawiska monotonii w procesie leczenia. Jest to kluczowe dla podtrzymania długofalowej motywacji oraz zachowania zasad biofeedbacku, które są niezbędne w pracy związanej z neuroplastycznością ośrodkowego układu nerwowego (Maclean, 2002). U pacjentów poddanych dwutygodniowej terapii urządzeniem działającym na zasadzie biofeedbacku z wykorzystaniem wibracji mechanicznej odnotowano obniżenie subiektywnej oceny dolegliwości bólowych o blisko 1 pkt w skali VAS (0,909) na tle średniej wysokości odczuwanego bólu, co jest istotnym elementem podjętej terapii. Odczucia badanych po zastosowaniu nowoczesnej metody usprawniania prawdopodobnie wzmocniły zaufanie do wprowadzonego rozwiązania, co bezpośrednio przełożyło się na ogólną wysoką ocenę zadowolenia z terapii (8,95/10 pkt).

Ostatecznym potwierdzeniem pozytywnego potencjału w uzupełnianiu rehabilitacji neurologicznej, urządzeniem iWakka jest zestawienie wyników kwestionariusza, skali MORE oraz skali VAS z oceną sprawności pacjentów (Barthel, mRS). U wszystkich ankietowanych zaobserwowano wzrost punktacji w skali Barthel z poziomu umiarkowanej zależności od innych (52,73 pkt) w pierwszym tygodniu po przyjęciu do oddziału do poziomu znacznie większej samodzielności, osiągającej poziom 70,45 pkt po zakończeniu usprawniania. Wynik ten okazał się dodatkowo powiā-

zany ze spadkiem stopnia niepełnosprawności mierzonej za pomocą skali mRS. Podczas drugiego pomiaru blisko 64% badanych uzyskało wynik 2, awansując tym samym z poziomu 3. Tak wyraźna poprawa wydolności fizycznej sugeruje, że wysoka motywacja początkowa (mierzona za pomocą skali MORE), w połączeniu ze spadkiem subiektywnie odczuwanego bólu (mierzonego w skali VAS), stworzyła dobre warunki do prowadzenia rehabilitacji urozmaiconej dodatkowo nowoczesnymi formami terapii w postaci urządzenia iWakka (Toshima i wsp., 2025). Nowoczesna technologia nie tylko przyczyniła się do poprawy komfortu psychicznego pacjentów, ale wpłynęła na proces odzyskiwania przez nich niezależności funkcjonalnej.

OGRANICZENIA

Najważniejszym ograniczeniem podjętych badań jest brak grupy kontrolnej, co uniemożliwia określenie związku przyczynowo-skutkowego. Dodatkowym ograniczeniem jest mała liczebność badanej grupy – 12 osób. Uzyskane wyniki należy interpretować ostrożnie ze względu na ryzyko braku wykrycia rzeczywistego efektu. W przyszłych projektach wskazane jest przeprowadzenie randomizowanych badań na większej populacji, z wyodrębnieniem grupy kontrolnej. Działania te zwiększą możliwość oceny efektywności nowoczesnych technologii, takich jak iWakka, w neurorehabilitacji oraz ich wdrażania do standardowych protokołów postępowania rehabilitacyjnego po udarze mózgu.

WNIOSKI

Urządzenie iWakka stanowi motywującą formę uzupełnienia rehabilitacji neurologicznej pacjentów po udarze mózgu. Jej stosowanie zwiększa u nich chęci i pozytywne nastawianie do ćwiczeń. Włączenie urządzenia do programu rehabilitacyjnego przyczyniło się do obniżenia subiektywnej oceny odczuwanego przez pacjentów bólu, co w połączeniu z poprawą wskaźników mRS oraz Barthel potwierdza skuteczność odzyskiwania niezależności funkcjonalnej. Urządzenie iWakka stanowiło również ciekawą formę zwiększenia różnorodności rehabilitacji neurologicznej, istotnej z punktu widzenia odzyskiwania funkcji po przebytych udarze. Zachodzi konieczność rozwijania i wdrażania nowoczesnych rozwiązań technologicznych jako wartościowego uzupełnienia tradycyjnych metod usprawniania.

BIBLIOGRAFIA

- Aghamohammadi, N.R., Bittmann, M.F., Klamroth-Marganska, V., Riener, R., Huang, F.C., Patton, J.L. (2025). Error fields: personalized robotic movement training that augments one's more likely mistakes. *Scientific Reports*, 15(1), 4201, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87331-x>.
- Ballester, B.R., Maier, M., Duff, A., Cameirão, M., Bermúdez, S., Duarte, E., Cuxart, A., Rodríguez, S., Mozo, R.M.S., Verschure, P.F.M.J. (2019). A critical time window for recovery extends beyond one-year post-stroke. *Journal of Neurophysiology*, 122(1), 350–357, <https://doi.org/10.1152/jn.00762.2018>.
- Bertani, R., Melegari, C., De Cola, M.C., Bramanti, A., Bramanti, P., Calabrò, R.S. (2017). Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis. *Neurological Sciences*, 38(9), 1561–1569, <https://doi.org/10.1007/s10072-017-2995-5>.
- Calabrò, R.S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 14(1), 53, <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>.
- Eurostat (2024). *Poziom umiejętności cyfrowych osób fizycznych* (od 2021 r.). Pobrano 18.08.2025 z: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ISOC_SK_DSKL_I21/default/table
- Gunduz, M.E., Bucak, B., Keser, Z. (2023). Advances in stroke neurorehabilitation. *Journal of Clinical Medicine*, 12(21), 6734, <https://doi.org/10.3390/jcm12216734>.
- Fasano, A., Mauro, M.C., Beani E., Nicora G., Germanotta M., Falchini F., Pavan, A., Habib, V., Quaglini, S., Sgandurra, G., Aprile, I.G. (2025). Towards the identification of patients' needs for promoting robotics and allied digital technologies in rehabilitation: a systematic review. *Healthcare*, 13(7), 828, <https://doi.org/10.3390/healthcare13070828>.
- Kaneno, T., Sato, A., Akizuki, K., Yamaguchi, A., Yasaki, K., Morita, Y. (2017). Assessing the adjustability of grasping force using the iWakka in elderly individuals. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(12), 2215–2219, <https://doi.org/10.1589/jpts.29.2215>.
- Kleim, J.A., Jones, T.A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), 225–239, [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/018\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018)).
- Kwakkel, G., Stinear, C., Essers, B., Munoz-Novoa, M., Branscheidt, M., Cabanas-Valdés, R., Lakičević, S., Lampropoulou, S., Luft, A.R., Marque, P., Moore, S.A., Solomon, J.M., Swinnen, E., Turolla, A., Murphy, M.A., Verheyden, G. (2023). Motor rehabilitation after stroke: European Stroke Organisation (ESO) consensus-based definition and guiding framework. *European Stroke Journal*, 8(4), 880–894, <https://doi.org/10.1177/23969873231191304>.

- Lang, C.E., MacDonald J.R., Gnip C. (2007). Counting repetitions: an observational study of outpatient therapy for people with hemiparesis post-stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31(1), 3–10, doi: 10.1097/01.npt.0000260568.31746.34.
- Maclean, N., Pound, P., Wolfe, C., Rudd, A. (2002). The concept of patient motivation: a qualitative analysis of stroke professionals' attitudes. *Stroke*, 33(2), 444–448, <https://doi.org/10.1161/hs0202.102367>.
- Maggio, MG, Latella, D, Maresca, G, Sciarone, F, Manuli, A, Naro, A, De Luca, R., Calabrò, R.S. (2019). Virtual reality and cognitive rehabilitation in people with stroke: an overview. *Journal of Neuroscience Nursing*, 51(2), 101–105, <https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000423>.
- Mikołajewska, E., Mikołajewski, D. (2012). Neuroplastyczność w rehabilitacji po uszkodzeniach ośrodkowego układu nerwowego – modele obliczeniowe. *Postępy Rehabilitacji*, 26(1), 51, <https://doi.org/10.2478/rehab-2013-0029>.
- Morita, Y., Chokki, Y., Takato, R., Toshima, K., Nomura, M., Uchida, M., Yamazaki, K. (2024). Development of smart iWakka healthcare system. In: 2024 17th International Convention on Rehabilitation Engineering and Assistive Technology (i-CREATE). IEEE, <https://doi.org/10.1109/i-CREATE62067.2024.10776487>.
- Rocha, C.D., Carneiro, I., Torres, M., Oliveira, H.P., Solteiro Pires, E., Silva, M.F. (2025). Post-stroke upper limb rehabilitation: clinical practices, compensatory movements, assessment, and trends. *Progress in Biomedical Engineering*, 7(4), 042001, <https://doi.org/10.1088/2516-1091/adeb1e>.
- Sandvig, I., Augestad, I.L., Håberg, A.K., Sandvig, A. (2018). Neuroplasticity in stroke recovery. The role of microglia in engaging and modifying synapses and networks. *European Journal of Neuroscience*, 47(12), 1414–1428, <https://doi.org/10.1111/ejn.13959>.
- Sarzyńska-Długosz, I. (2023). An optimal model of long-term post-stroke care. *Frontiers in Neurology*, 14, 1129516, <https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1129516>.
- Shumway-Cook, A., Woollacott, M.H. (2007). *Motor Control. Translating Research into Clinical Practice*. Lippincott Williams and Wilkins.
- Starosta, M., Kostka, J., Redlicka, J., Miller, E. (2017). Analysis of upper limb muscle strength in the early phase of brain stroke. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 19(3), 85–91.
- Toshima, K., Chokki, Y., Wasaka, T., Tamaru, T., Morita, Y. (2025). Quantification of motor learning in hand adjustability movements: an evaluation variable for discriminant cognitive decline. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2025.3540203>.
- Wang, Z., Liu, Q., Li, D., Wei, L., Chu, E., Bao, Y., Liu, Z., Jin, L., Chen, X., Zhao, K. (2025). Clinical efficacy observation of repetitive magnetic stimulation for treating upper limb spasticity after stroke. *Scientific Reports*, 15(1), 17722, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-02443-8>.
- Wieters, F., Lucas, C.W., Gruhn, M., Büschges, A., Fink, G.R., Aswendt, M. (2021). Introduction to spasticity and related mouse models. *Experimental Neurology*, 335, 113491, <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2020.113491>.

- Yin, P.-B., Kitazawa, S. (2001). Long-lasting aftereffects of prism adaptation in the monkey. *Experimental Brain Research*, 141(2), 250–253, <https://doi.org/10.1007/s002210100892>.
- Yoshida, T., Otaka, Y., Kitamura, S., Ushizawa, K., Kumagai, M., Kurihara, Y., Yaeda, J., Osu, R. (2022). Development and validation of new evaluation scale for measuring stroke patients' motivation for rehabilitation in rehabilitation wards. *PLOS ONE*, 17(3), e0265214, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265214>.

ABSTRACT

Psychophysical aspects of rehabilitation in post-stroke patients.
A case study analysis of the iWakka device

Introduction. The study was designed to assess the impact of modern technologies on the psychophysical aspects of functional recovery in patients following stroke. **Material.** The study included 12 participants aged 47–82 years (7 women and 5 men) in the subacute post-stroke phase. The participants exhibited motor dysfunction of the upper limb and spasticity. **Methods.** Over a two-week period, the patients underwent three therapeutic sessions using the innovative iWakka device, which employs biofeedback to facilitate neuroplastic processes in the brain and mechanical vibration to reduce elevated muscle tone. Assessment was conducted using the MORE motivation scale, a questionnaire on modern technologies and the iWakka device, the VAS pain scale, and the mRS and Barthel Index functional scales. **Results.** Following completion of the therapy, scores on the MORE motivation scale ranged from 94 to 116 points (out of a possible 119). The mean rating of patients' attitudes towards modern therapeutic methods was 9.16 out of 10. All participants (100%) reported that iWakka, as a modern technology, was motivating and expressed their intention to continue the rehabilitation. A total of 83.3% of participants indicated that modern methods may be more effective than traditional ones. The mean pain score (VAS) decreased from 2.36 to 1.45. Following the intervention, a significant improvement in functional status was observed, as reflected in the mRS (mean 3.00 pre-intervention vs 2.36 post-intervention; $p = 0.014$) and the Barthel Index (mean 52.73 pre-intervention vs 70.45 post-intervention; $p < 0.001$) scales. **Conclusions.** The implementation of three therapeutic sessions employing the iWakka device as a modern technological intervention confirmed high levels of motivation and a positive attitude among post-stroke patients towards innovative therapeutic approaches. The intervention had a positive impact on functional independence, the level of disability and the reduction of upper limb pain. There is a need to further develop and implement modern technological solutions as a valuable adjunct to conventional rehabilitation methods.

Keywords: vibration therapy, modern technology, stroke, neurorehabilitation

JAKUB WIERCIŃSKI¹, KACPER CHOJOWSKI²,
MICHAŁ KUSZEWSKI²

¹ Studenckie Koło Naukowe „FASCYnaci”, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

² Instytut Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

OCENA PARAMETRÓW LEPKOSPŘŻYSTYCH TAŚMY BOCZNEJ W MODELU FASCIAL MANIPULATION® WEDŁUG STECCO W ZWIĘKSZONYM PRZYJMOWANIU WODY

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była analiza wpływu zwiększonego spożycia wody na właściwości lepkospřżyste tkanek miękkich taśmy bocznej. **Materiał.** W badaniach wzięło udział 57 zdrowych dorosłych (28 kobiet, 29 mężczyzn) w wieku 18–50 lat. **Metody.** Uczestnicy badań zostali losowo przydzieleni do jednej z dwóch grup: grupy badanej ($n = 28$), której polecono zwiększyć spożycie wody do > 3 l/dzień przez 20 dni, oraz do grupy kontrolnej ($n = 29$) utrzymującej swój standardowy poziom nawodnienia. Właściwości lepkospřżyste bocznej taśmy mięśniowo-powięziowej oceniano obustronnie za pomocą urządzenia MyotonPro przed eksperymentem i po eksperymentcie. **Wyniki.** Zaobserwowano istotne różnice w reaktywności tkankowej między badanymi grupami ($p < 0,05$), a także znaczne zróżnicowanie w całkowitej ilości przyjmowanych płynów: osoby z grupy badanej przyjęły około 65 l w trakcie eksperymentu, a w przypadku osób z grupy kontrolnej było to około 30 l. **Wnioski.** Zwiększona ilość spożywanej wody wpływała korzystnie na funkcjonowanie badanych tkanek miękkich w obrębie taśmy bocznej.

Słowa kluczowe: tkanki miękkie, nawodnienie, spożycie wody, MyotonPro, powięź

WPROWADZENIE

Woda ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania człowieka i jest uważana za niezbędny składnik odżywczy (Jéquier i Constant, 2010). Jest największą pojedynczą składową ludzkiego organizmu, stanowi bowiem około 60% masy ciała dorosłego człowieka. Europejski Urząd Bezpieczeństwa Żywności (European Food Safety Authority, EFSA) dokonał przeglądu istniejącej literatury i określił zalecane spożycie wody na poziomie 2 l/dzień dla kobiet i 2,5 l/dzień dla mężczyzn (EFSA, 2010). Z perspektywy układu ruchu woda to nie tylko składnik krwi czy płynów ustrojowych, to rów-

niez kluczowy element struktur tkanek miękkich, w tym mięśni, ścięgien, więzadeł oraz powięzi. Jeśli chodzi o mięśnie, woda stanowi 70–75% całkowitej masy beztłuszczowej (Lorenzo i wsp., 2019), ścięgna składają się co najmniej w 62% z wody (Masic i wsp., 2015), a powięź to około 70% wody (Lozano i wsp., 2019). Można więc stwierdzić, że tkanki te charakteryzują się wysokim stopniem uwodnienia, w związku z czym różnice w zawartości wody będą wpływać na regulacje oraz zmiany właściwości lepkospřżystych tych struktur, a zwłaszcza powięzi. Powięź jest opisywana jako włóknista tkanka łączna otaczająca każdy mięsień szkieletowy, układ nerwowy, naczynia krwionośne, warstwy skóry i narządy wewnętrzne. Jej rola polega na utrzymaniu prawidłowego funkcjonowania układu ruchu. Zarówno powięź, jak i tkanka mięśniowa podlegają ciągłym zmianom w zakresie sztywności w odpowiedzi na informacje z receptorów i w kontekście powtarzającej się stymulacji mechanicznej (Stecco i wsp., 2006).

Powięź może przenosić napięcia wzdłuż tkanek. Małe zmiany mogą wpływać na sztywność tkanek sąsiadujących, a nawet znacznie od siebie oddalonych. Łańcuchy mięśniowo-powięziowe doskonale odzwierciedlają koncepcję integralności ciała. Systematyzacją anatomii łańcuchów mięśniowo-powięziowych zajmowało się wielu autorów (Bordoni i Myers, 2020), ale wydaje się, że najbardziej spójny model funkcjonalny został ujęty w koncepcji manipulacji powięzi opracowanej przez Stecco i Caro (2019). Schemat ten opiera się na układzie trzech płaszczyzn (strzałkowej, poprzecznej i czołowej) oraz dwóch antagonistycznych sekwencji mięśniowo-powięziowych dla każdej z nich. Płaszczyzny te są obsługiwane przez dwa łańcuchy mięśniowo-powięziowe, a poszczególne mięśnie wchodzące w skład danego łańcucha działają na poziomie pojedynczego segmentu ruchowego. Takie rozumienie układu mięśniowo-powięziowego dobrze wyjaśnia zarówno lokalne, jak i globalne zależności mechaniczne w tym układzie (Stecco i wsp., 2023).

Zmiany właściwości mechanicznych powięzi są związane z nawodnieniem, a ich regulacja ściśle łączy się z substancją nazywaną hialuronianem (ang. *hialuronian acid*, HA), który szczególnie obficie występuje w miękkiej tkance łącznej. Jego właściwości wpływają na ruch warstw płynów zawierających HA w powięzi głębokiej i pod nią (Cowman i wsp., 2015) i regulują stężenie wody w substancji podstawowej zapewniającej smarowanie między warstwami tkanek miękkich. Znaczący wpływ na właściwości lepkospřżyste tkanki ma również kolagen, który stanowi jeden z głównych składników suchej masy tkanki łącznej, zwłaszcza powięzi głę-

bokiej. Włókna kolagenu w powięzi głębokiej są ułożone w zbite pęczki, dzięki czemu odgrywa ona kluczową rolę w przenoszeniu obciążeń (Fede i wsp., 2026). Prawidłowo nawodniony kolagen wykazuje inne właściwości fizyczne niż ten o obniżonej ilości wody. Na tej podstawie można stwierdzić, że woda odgrywa ważną rolę w stabilizacji struktur kolagenu oraz HA i działa jak swoisty smar, ułatwiając przesuwanie się struktur względem siebie (Masic, 2015). Kiedy lepkość płynu w luźnej tkance łącznej wzrasta z powodu zwiększonego stężenia HA lub jego kowalencyjnej modyfikacji, gęsta tkanka łączna może rozłożyć sztywność na otaczające obszary, bardziej zwiększając sztywność mięśni i powięzi (Cowman i wsp., 2015). Patologiczna powięź charakteryzuje się wzmożoną sztywnością tkanek wraz ze zmianami w aktywności miofibroblastów i macierzy zewnątrzkomórkowej często też pod względem kolagenu (Kondrup, 2022).

Wszystkie opisane mechanizmy mogą mieć szczególnie wpływ na funkcjonalność pacjentów z dolegliwościami bólowymi i mogą korelować z ich stanem klinicznym. Wilke i wsp. (2019) wykazali związek między zwiększoną grubością powięzi i zmniejszoną elastycznością stawów u pacjentów cierpiących na przewlekły ból. Większa sztywność tkanek może powodować ból i jest z nim często skorelowana. Jednoznaczne rozróżnienie między bólem, sztywnością i tklivością może być trudne (Maigne i wsp., 2012), ale dogłębna charakterystyka zaburzenia jest istotna dla określenia odpowiednich interwencji terapeutycznych (Haueise, 2024). Zdaniem Kondrupa (2022) do najczęstszych miejsc korelacji między napięciem powięzi głębokiej a bólem dochodzi w tkankach związanych z pasmem biodrowo-piszczelowym oraz powięzią piersiowo-lędźwiową. Asayama i wsp. (2025) wykazali, że zwiększona sztywność ITB (łac. *iliotibial band*) prowadzi do podwyższonego ustawienia rzepki, co z kolei jest powiązane z bólem rzepkowo-udowym, niestabilnością rzepki, uszkodzeniem chrząstki stawowej oraz zwichnięciem rzepki (Huntington i wsp., 2020; Lu i wsp., 2016; Monk i wsp., 2011; Pal i wsp., 2013). Zmiany sztywności obszaru powięzi piersiowo-lędźwiowej mogą natomiast wpływać na powstawanie LBP (ang. *low back pain*) (Dévanter, 2023). Istotne z perspektywy niniejszych badań jest to, że zarówno powięź piersiowo-lędźwiowa, jak i pasmo biodrowo-piszczelowe w koncepcji manipulacji powięziowych są kojarzone z tzw. mięśniowo-powięziową taśmą boczną.

CEL BADAŃ

Analizując dotychczasowe doniesienia dotyczące wpływu nawodnienia na prawidłową pracę taśm mięśniowo-powięziowych oraz ich zwiększoną sztywność, wykazano lukę badawczą związaną z fizjologią tkanek miękkich i zwiększonym nawodnieniem. Postanowiono więc zbadać wpływ nawodnienia na właściwości lepkospřżyste taśmy bocznej zgodnie z modelem Manipulacji Powięzi® według koncepcji Stecco.

MATERIAŁ I METODY

Eksperyment uzyskał zgodę Komisji Etycznej Krajowej Izby Fizjoterapeutów (nr zgody 2/2022). Badania zostały zarejestrowane 21 stycznia 2025 r. w ANZCTR i otrzymało numer ACTRN12625000060448. Przeprowadzono je zgodnie z zasadami określonymi w Deklaracji Helsińskiej. Badani zostali w poinformowani o przyjętych procedurach, potencjalnych zagrożeniach oraz o prawie do wycofania się z projektu w dowolnym momencie bez podawania przyczyny.

Osoby badane

Po ogłoszeniu naboru do badań zgłosiło się 75 osób. Na podstawie kryteriów włączenia i ukończenia procedur eksperymentalnych do projektu zakwalifikowano 57 uczestników, w tym 28 kobiet i 29 mężczyzn w wieku 18–50 lat (średni wiek: 27,4 roku) (tab. 1).

Kryteriami kwalifikacji były: wiek 18–50 lat, dobry stan zdrowia, brak ostrych lub przewlekłych schorzeń, które mogłyby wpływać na stan na-

Tabela 1. Dane antropometryczne badanych

	Ogółem ($n = 57$)				Grupa kontrolna ($n = 29$)				Grupa badana ($n = 28$)				p
	$\bar{x}$	min.	max	SD	$\bar{x}$	min.	max	SD	$\bar{x}$	min.	max	SD	
Wiek (lata)	27,40	18	50	10,04	27,54	18	50	10,29	27,28	18	50	9,98	> 0,05
Wysokość ciała (cm)	172,61	150	188	9,46	171,86	150	188	9,85	173,35	155	187	9,19	> 0,05
Masa ciała (kg)	71,28	44	105	15,16	70,93	44	105	16,76	71,62	52	95	13,74	> 0,05
Przyjmowana woda (l)	1,39	0,5	3	0,67	1,22	0,5	2,5	0,52	1,55	0,5	3	0,76	> 0,05

wodnienia lub funkcjonowanie układu mięśniowo-szkieletowego, wyrażenie pisemnej świadomej zgody na udział w projekcie.

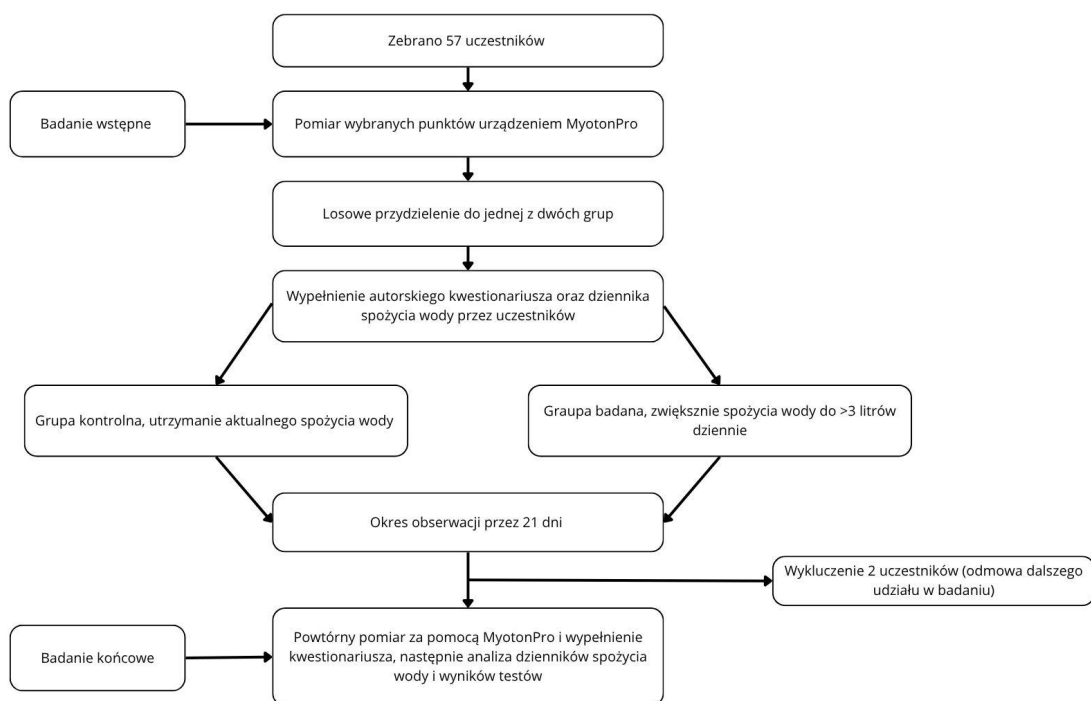
Kryteria wykluczenia obejmowały: aktywną infekcję z gorączką lub kwarantannę; regularne stosowanie leków spazmolitycznych lub zmiotczających mięśnie, leków moczopędnych lub suplementów diety, o których wiadomo, że wpływają na nawodnienie (np. kreatyna, preparaty elektrolitowe, glicerol lub kofeina w dużych dawkach); nawykowe spożywanie alkoholu lub kofeiny w ilościach przekraczających zalecane dzienne spożycie; przebytą operację kręgosłupa lędźwiowego w ciągu ostatnich 6 miesięcy lub jakiegokolwiek przeciwwskazania do badania fizykalnego; przewlekłe zespoły bólowe układu mięśniowo-szkieletowego, które mogłyby niezależnie wpływać na sztywność powięzi; przewlekłe zaburzenia żołądkowo-jelitowe, cukrzycę, zaburzenia czynności tarczycy, choroby nerek lub choroby układu sercowo-naczyniowego (np. niekontrolowane nadciśnienie tętnicze, niewydolność serca); ciążę lub karmienie piersią; stosowanie leków przeciwzapalnych (NLPZ lub kortykosteroidów) w okresie badań; ekstremalne wartości wskaźnika masy ciała ($< 18,5$ lub $> 30 \text{ kg/m}^2$); w przypadku uczestniczek – fazy cyklu menstruacyjnego, które mogłyby istotnie wpływać na zatrzymanie wody, chyba że faza cyklu była taka sama w obu pomiarach.

Uczestników projektu przydzielono losowo do jednej z dwóch grup: eksperymentalnej (początkowo 28 osób, grupa S) i kontrolnej (29 osób, grupa C). Dwie osoby (po jednej z każdej grupy) nie ukończyły procedury eksperymentalnej, dlatego ostatecznie wyniki pochodziły od 55 badanych. Osoby zakwalifikowane do badania zostały poproszone o utrzymanie dotychczasowego stylu życia, nieeksperymentowanie z dietą i brak zmian w poziomie aktywności fizycznej w porównaniu z wartościami odnotowanymi przed badaniami, ponieważ mogło to wpłynąć na ich wyniki.

Nie odnotowano różnic wyjściowych między grupami. Były one homogeniczne pod względem wieku, wzrostu i masy ciała, a także w zakresie spożycia wody ($p > 0,05$).

Protokół badań

Przebieg protokołu badawczego przedstawiono na rycinie 1. Poza podstawowymi danymi, takimi jak wiek oraz wysokość i masa ciała, od badanych zebrano informacje na temat ich samopoczucia, dotychczasowej szacunkowej ilości spożywanej wody dziennie, poziomu aktywności fi-



Rycina 1. Procedura badań

zycznej, trybu pracy, a także dominującej kończyny górnej, która mogła mieć wpływ na lateralizację ciała. W tym celu posłużono się autorskim kwestionariuszem opracowanym na potrzeby projektu. Badania rozpoczęły się od pomiaru parametrów lepkosprężystych tkanek miękkich. Wykonywano go w ściśle określonych punktach tzw. taśmy bocznej według koncepcji Stecco. Następnie badani otrzymali do wypełnienia kwestionariusz. Bezpośrednio po pomiarze zostali rozlosowani do jednej z dwóch grup. Osobom z grupy S (eksperymentalnej) zalecano zwiększenie spożycia wody – do 3 l/dzień (maksymalnie 250 ml wody raz na godzinę). Badani włączeni do grupy C (kontrolnej) mieli zachować dotychczasowy zwyczajowy (niezmieniony) poziom spożycia wody. Badani w obu grupach mieli za zadanie prowadzić dzienniczek dziennego spożycia wody. Eksperyment trwał 20 kolejnych dni. Po ich upływie ponownie oceniono parametry lepkosprężyste w tych samych punktach oraz przeanalizowano ilość spożywanej przez badanych wody. Po drugim pomiarze uczestnicy projektu otrzymali ponownie kwestionariusz do wypełnienia.

Pomiar parametrów lepkościowych

Do nieinwazyjnego pomiaru napięcia tkankowego taśmy bocznej zastosowano narzędzie diagnostyczne MyotonPro (Myoton, Tallinn, Estonia), które wywołuje mechaniczne odkształcenie tkanek miękkich oraz rejestruje wskaźniki ich reaktywności. Podczas pomiaru rejestrowane są takie parametry, jak stan napięcia, lepkościowość tkanki oraz jej właściwości biomechaniczne (Bravo-Sánchez i wsp., 2021; Trybulski i wsp., 2024). Narzędzie rejestruje pięć wskaźników: częstotliwość drgań tkanki (Hz), sztywność dynamiczną (N/m), sprężystość (jednostka względna), czas relaksacji (ms) oraz pełzanie – stosunek czasu relaksacji i odkształcenia tkanki (liczba Deborah – jednostka względna). Aby uchwycić reakcję tkanki, eksplorator wykorzystuje impulsy mechaniczne o długości 15 ms i siłę mechaniczną 0,40 N. Do analizy zastosowano potrójny skan, czyli wartość średnią z trzech kolejnych, następujących po sobie impulsów. Jest to uważane za wiarygodne narzędzie diagnostyczne (Hu i wsp., 2018). Badaniami objęto następujące struktury taśmy bocznej (LA) – według Stecco – po obu stronach ciała: mięsień czworoboczny lędźwi (łac. *musculus quadratus lumborum*), mięsień naprężacz powięzi szerokiej (łac. *tensor fasciae latae*) oraz pasmo biodrowo-piszczelowe (łac. *iliotibial band*). Pomiarów przeprowadzano w takich samych warunkach, w pomieszczeniach zamkniętych o temperaturze pokojowej. Uczestnicy projektu byli badani w pozycji leżenia boki i pronacji (w zależności od mierzonego punktu), ręce ułożone wzdłuż ciała. Pomiarów dokonywano po stronie prawej i lewej w ustalonej kolejności. Mięsień czworoboczny lędźwi badano w połowie jego długości, w pozycji leżenia przodem. Naprężacz powięzi szerokiej oraz pasmo biodrowo-piszczelowe badano w pozycji leżenia boki, w połowie jego długości.

Obliczono średnią arytmetyczną dla poszczególnych punktów mierzonych za pomocą MyotonPro – od odcinka lędźwiowego (LU), przez biodro (CX), do kolana (GE). W tym celu posłużono się następującym wzorem:

$$(LUX + CXY + GEZ) / 3 = \text{wskaźnik Stiffness/Frequency/Relaxation,}$$

gdzie zmienne X, Y i Z oznaczają wartości Stiffness/Frequency/Relaxation mierzone w danym punkcie.

Do oceny poziomu istotności uzyskanych wyników zastosowano test analizy wariancji z powtarzanymi pomiarami. Jako poziom istotności

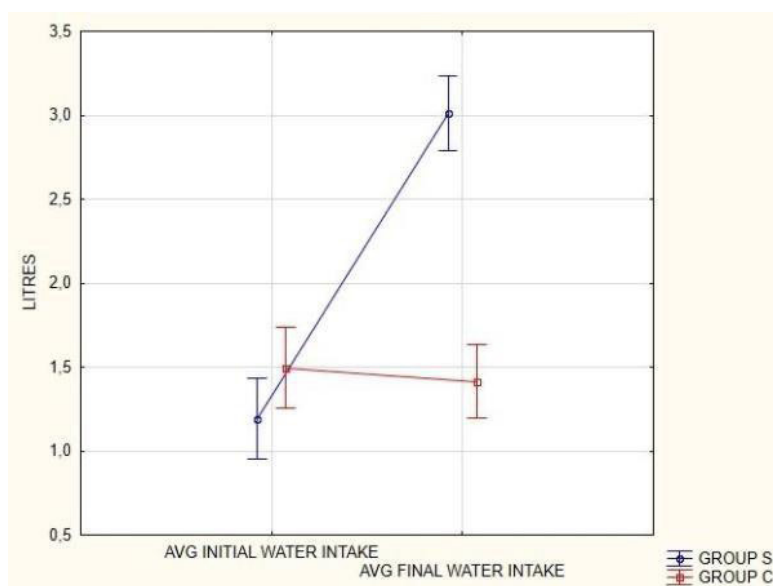
przyjęto $p < 0,05$. Dodatkowo wyliczono moc testu z użyciem narzędzia G*Power.

WYNIKI

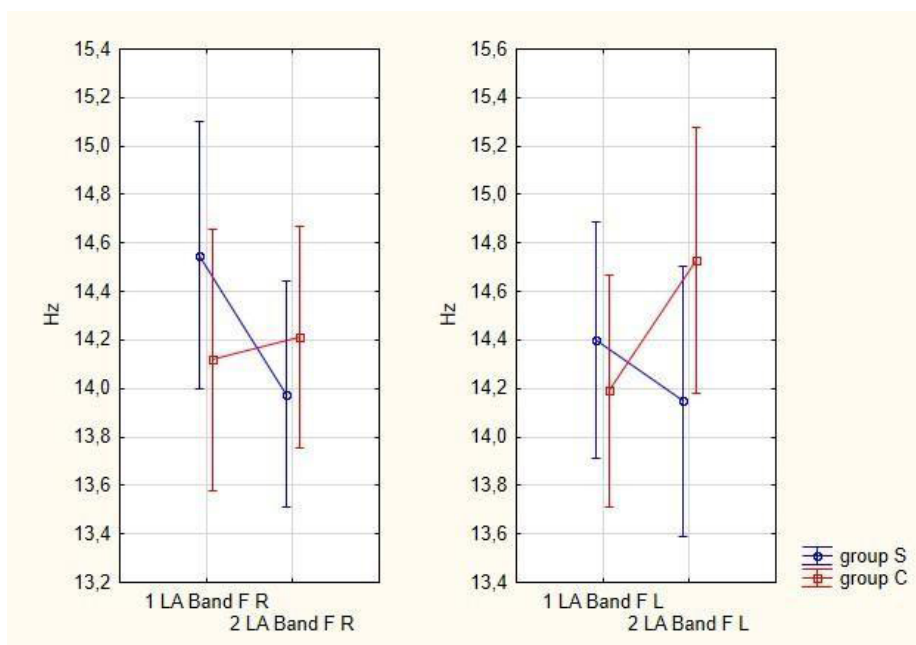
Analiza mocy statystycznej (G*Power) wykazała wartość 0,6 dla $\alpha = 0,05$. Poniżej przedstawiono tylko te wyniki, które okazały się istotne statystycznie.

Przeanalizowano również ilość wody spożytej przez uczestników przed eksperymentem i po jego zakończeniu. Wzrosła ona istotnie w grupie S ($p < 0,001$). W grupie C nie zaobserwowano istotnych zmian (ryc. 2).

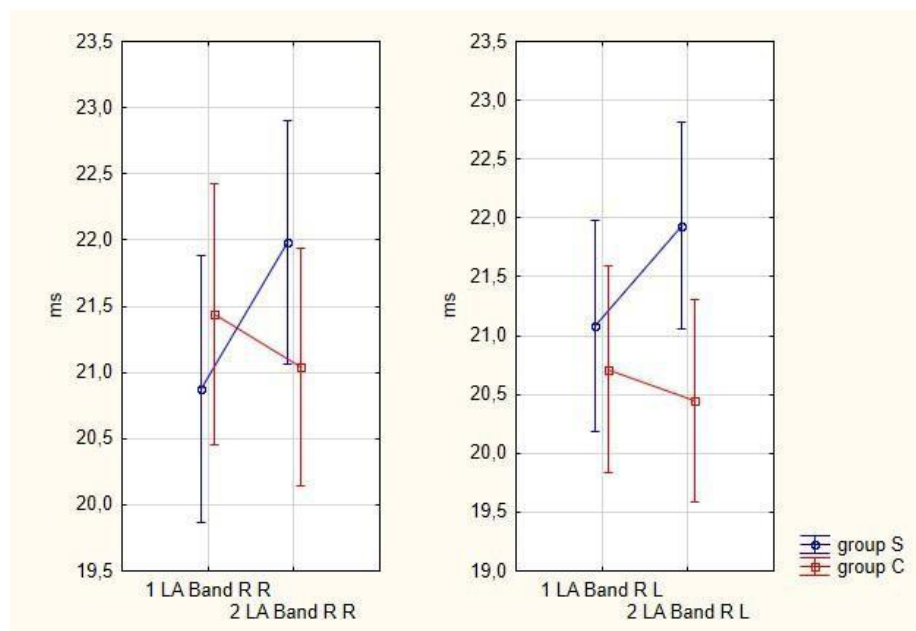
Analiza wyników wskazuje, że oceniane właściwości lepkospężyste bocznej taśmy mięśniowo-powięziowej różniły się między grupami S i C pod względem badanych parametrów. We wszystkich wskaźnikach odnotowano istotne statystycznie różnice w obrębie prawej i lewej taśmy mięśniowo-powięziowej na korzyść osób, które zwiększyły spożycie wody (grupa S). W przypadku częstotliwości i sztywności uzyskano istotnie niższe wartości (po stronie prawej odpowiednio $p < 0,0005$ i $p < 0,000005$, po stronie lewej odpowiednio: $p < 0,0005$ i $p < 0,000005$) (ryc. 3), a w przypadku relaksacji odnotowano wartości istotnie wyższe (po stronie prawej $p < 0,0005$, po stronie lewej $p < 0,05$) (ryc. 4, 5). Nie zaobserwowano istotnych różnic w zakresie tych wskaźników w grupie C.



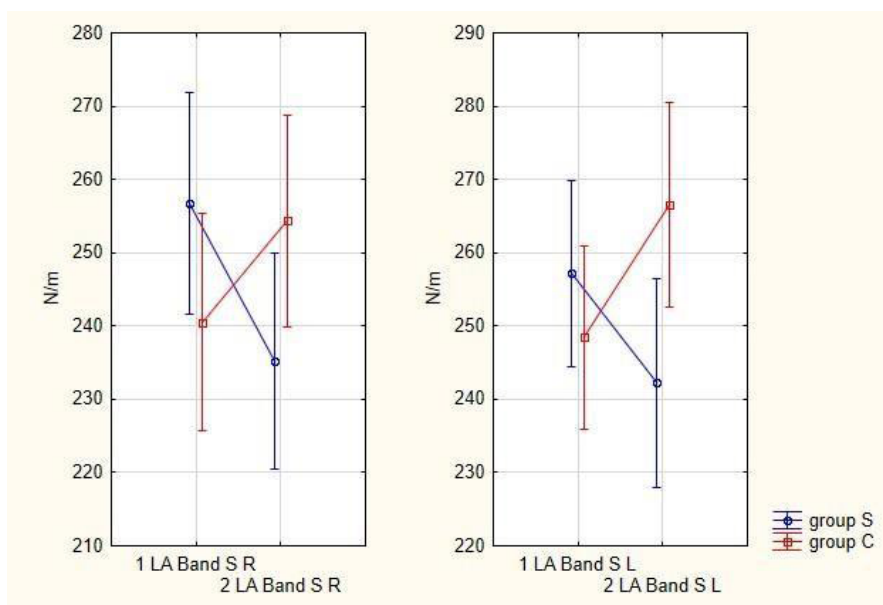
Rycina 2. Zmiany w spożyciu wody przez badanych



Rycina 3. Zmiany wskaźnika częstotliwości w obrębie taśmy bocznej po prawej i lewej stronie



Rycina 4. Zmiany wskaźnika relaksacji w obrębie mięśniowo-powięziowej taśmy bocznej po prawej i lewej stronie



Rycina 5. Zmiany wskaźnika sztywności w obrębie bocznej taśmy mięśniowo-powięziowej po prawej i lewej stronie

DYSKUSJA

Celem przedstawionych badań było sprawdzenie, czy zwiększone nawodnienie wpływa na właściwości lepkospężyste bocznej taśmy mięśniowo-powięziowej. Pomiarami objęto określone punkty taśmy bocznej (LA) w modelu manipulacji powięzi według Stecco należące do segmentów odcinka lędźwiowego (LU), biodra (CX) oraz kolana (GE). Są to miejsca często związane z powstawaniem dolegliwości bólowych u pacjentów, a zmiany ich sztywności mogą być kluczowe dla funkcjonowania układu ruchu. U badanych, którzy zwiększyli spożycie wody, wykazano istotnie zmniejszoną sztywność i częstotliwość drgań taśmy bocznej zarówno po stronie prawej, jak i lewej, a także wydłużony czas relaksacji w porównaniu z osobami z grupy kontrolnej, które nie zmieniły zwyczajów związanych ze spożywaniem wody. Może to sugerować znaczące zaangażowanie nawodnienia w zmiany wskaźnika sztywności tkanek miękkich, a jej optymalne spożycie może być istotnym czynnikiem w profilaktyce dysfunkcji związanych ze sztywnością. Sleboda i Roberts (2017) wykazali, że bierne napięcie mięśniowe i objętość płynu są ze sobą skorelowane i kolejne zmiany w objętości płynu zmieniają napięcie tkanki w sposób zależny od przyjmowanej

dawki płynu. Należy się więc spodziewać, że lepiej nawodniona tkanka będzie wykazywała się mniejszą sztywnością. W razie niewłaściwego nawodnienia tkanka traci zdolność do większego rozciągnięcia przy maksymalnej sile i w konsekwencji staje się mniej elastyczna i bardziej krucha (Lozano i wsp., 2019). Parametry związane z nawodnieniem i właściwościami lepkosprężystymi są kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania tkanki, a ich zmiany mogą skutkować zwiększeniem ryzyka urazów oraz powstawaniem dysfunkcji. Dotychczasowe badania (m.in. Sleboda i Roberts, 2017) były wykonywane głównie na wypreparowanych tkankach i nie wyjaśniają wystarczająco fizjologii żywej tkanki. Istnieje niewiele prac *in vivo* próbujących wytłumaczyć zmiany sztywności związane z nawodnieniem tkanek. Mimo to wiele technik terapii manualnej oraz powięziowej wykorzystuje mechanizmy pozwalające modyfikować zawartość wody i gęstość hialuronianu w tkance, koncentrując się na przywróceniu homeostazy płynów i zdolności warstw powięziowych do ślizgania się po sobie. W jednym z badań dotyczących terapii powięziowej stwierdzono statystycznie istotną różnicę między stężeniem wody związanej i niezwiązanej przed manipulacją powięzi i po jej przeprowadzeniu (Menon i wsp., 2020). Dane sugerują, że zastosowanie terapii manualnej wydaje się zmniejszać stężenie wody niezwiązanej w powięzi głębokiej u większości pacjentów przewlekłe chorych. To może tłumaczyć odczuwaną przez wielu praktyków zmianę lepkości, jak również wyjaśnić zmniejszenie niepożądanych objawów wskutek przywrócenia prawidłowych właściwości luźnej tkanki łącznej (Menon i wsp., 2020). Wyniki badań własnych sugerują, że na mechanizmy związane z właściwościami lekosprężystymi wpływa nawodnienie. Podobnie twierdzą Sleboda i Roberts (2017) oraz Menon i wsp. (2020), według których zachodzi związek między zawartością wody a sztywnością tkanek miękkich. Można by zatem oczekiwać, że sztywność wzrośnie po zmniejszeniu zawartości wody w powięzi piersiowo-lędźwiowej. Innego zdania są jednak Brandl i wsp. (2023), którzy nie wykazali ani istotnego wpływu technik z wykorzystaniem IASTM (ang. *instrument assisted soft tissue mobilization*) na sztywność powięzi piersiowo-lędźwiowej, ani związku między zawartością wody a sztywnością tkanek. Aby zrozumieć procesy zachodzące w tkankach *in vivo* związane z nawodnieniem, potrzebne są dalsze badania.

OGRANICZENIA

Założeniem niniejszych badań była ocena prostej zależności pomiędzy nawodnieniem a elastycznością tkanek, dlatego świadomie pominięto inne czynniki. Badane parametry analizowano w sposób uproszczony, bez monitorowania pozostałych. Starano się je regulować. Osoby badane przed rozpoczęciem projektu i po jego zakończeniu wypełniali ankietę, w której określali dzienne spożycie wody oraz swoją aktywność. Zalecono utrzymanie dotychczasowego stylu życia określonego na początku badania. Mimo to mogło pojawić się kilka czynników, takich jak środowisko, codzienna aktywność fizyczna czy dieta, które mogły mieć wpływ na uzyskane wyniki. Kolejnym ograniczeniem była trudność w określeniu, na jakim poziomie następują zmiany tkankowe po zwiększeniu spożycia wody – czy dokładnie w tkance powierzchownej czy głębokiej (Brandl i wsp., 2023; Menon i wsp., 2020). To mogło ograniczyć precyzyjny pomiar wody w tkance. Brakuje również metody i narzędzia do zbadania korelacji między nawodnieniem a sztywnością tkankową *in vivo*. Kolejne badania na ten temat pomogłyby zrozumieć zaobserwowane zmiany.

IMPLIKACJE KLINICZNE

Wyniki przedstawionych badań pozwalają przypuszczać, że nawodnienie może wspomagać zmniejszenie sztywności boczno łańcucha mięśniowo-powięziowego. Z praktycznego punktu widzenia metody skupiające się na poprawie ślizgu powięzi powinny zwracać uwagę na ilość przyjmowanych przez pacjenta płynów. Może to być jeden z czynników zwiększających skuteczność terapii powięziowych, takich jak Fascial Manipulation® według Stecco, prowadzących do poprawy odczuwanej sztywności tkankowej.

WNIOSKI

Zwiększone nawodnienie zmniejsza sztywność powięzi, zwłaszcza tzw. taśmy bocznej. Nawodnienie może zmieniać właściwości lepkospřżyste tkanek miękkich, takie jak sztywność, czas relaksacji oraz częstotliwość drgań. W badaniach powięzi należy uwzględniać poziom spożycia płynów, który może mieć szczególny wpływ na funkcjonowanie tkanek. Niewątpliwie wymagane są dalsze badania oceniające wpływ nawodnienia na inne tkanki miękkie.

BIBLIOGRAFIA

- Asayama, A., Yagi, M., Taniguchi, M., Nakai, R., Ichihashi, N. (2025). Iliotibial band stiffness is associated with patellar height. *Journal of Biomechanics*, 184, 112673, <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2025.112673>.
- Bordoni, B., Myers, T. (2020). A review of the theoretical fascial models: biotensegrity, fasciointegrity, and myofascial chains. *Cureus*, 12(2), e7092, <https://doi.org/10.7759/cureus.7092>.
- Brandl, A., Egner, C., Schwarze, M., Reer, R., Schmidt, T., Schleip, R. (2023). Immediate effects of instrument-assisted soft tissue mobilization on hydration content in lumbar myofascial tissues: a quasi-experiment. *Journal of Clinical Medicine*, 12(3), 1009, <https://doi.org/10.3390/jcm12031009>.
- Bravo-Sánchez, A., Abián, P., Sánchez-Infante, J., Esteban-Gacía, P., Jiménez, F., Abián-Vicén, J. (2021). Objective assessment of regional stiffness in vastus lateralis with different measurement methods: a reliability study. *Sensors*, 21(9), 3213, <https://doi.org/10.3390/s21093213>.
- Cowman, M.K., Schmidt, T.A., Raghavan, P., Stecco, A. (2015). Viscoelastic properties of hyaluronan in physiological conditions. *F1000Res*, 4, 622, <https://doi.org/10.12688/f1000research.6885.1>.
- Devantéry, K., Morin, M., Grimard, J., Gaudreault, N. (2023). Effects of a myofascial technique on the stiffness and thickness of the thoracolumbar fascia and lumbar erector spinae muscles in adults with chronic low back pain: a randomized before-and-after experimental study. *Bioengineering*, 10(3), 332, <https://doi.org/10.3390/bioengineering10030332>.
- EFSA (2010). Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for water. *EFSA Journal*, 8(3), 1459, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1459>.
- Fede, C., Clair, C., Petrelli, L., Sun, Y., Biz, C., Angelini, A., Ruggieri, P., Stecco, C. (2026). Redefining the collagen composition of human fasciae: emerging collagen types and structural heterogeneity. *International Journal of Molecular Science*, 27(2), 1021, <https://doi.org/10.3390/ijms27021021>.
- Haueise, A., Le Sant, G., Eisele-Metzger, A., Dieterich, A.V. (2024). Is musculoskeletal pain associated with increased muscle stiffness? Evidence map and critical appraisal of muscle measurements using shear wave elastography. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 44(3), 187–204, <https://doi.org/10.1111/cpf.12870>.
- Hu, X., Lei, D., Li, L., Leng, Y., Yu, Q., Wei, X., Lo, W.L.A. (2018). Quantifying paraspinal muscle tone and stiffness in young adults with chronic low back pain: a reliability study. *Scientific Reports*, 8(1), 14343, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32418-x>.
- Huntington, L.S., Webster, K.E., Devitt, B.M., Scanlon, J.P., Feller, J.A. (2020). Factors associated with an increased risk of recurrence after a first-time patellar dislocation: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 48(10), 2552–2562, <https://doi.org/10.1177/0363546519888467>.

- Jéquier, E., Constant, F. (2010). Water as an essential nutrient: the physiological basis of hydration. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(2), 115–123, <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.111>.
- Kondrup, F., Gaudreault, N., Venne, G. (2022). The deep fascia and its role in chronic pain and pathological conditions: a review. *Clinical Anatomy*, 35(5), 649–659, <https://doi.org/10.1002/ca.23882>.
- Lorenzo, I., Serra-Prat, M., Yébenes, J.C. (2019). The role of water homeostasis in muscle function and frailty: a review. *Nutrients*, 11(8), 1857, <https://doi.org/10.3390/nu11081857>.
- Lozano, P.F., Scholze, M., Babian, C., Scheidt, H., Vielmuth, F., Waschke, J., Ondruschka, B., Hammer, N. (2019). Water-content related alterations in macro and micro scale tendon biomechanics. *Scientific Reports*, 9(1), 7887, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44306-z>.
- Lu, W., Yang, J., Chen, S., Zhu, Y., Zhu, C. (2016). Abnormal patella height based on insall-salvati ratio and its correlation with patellar cartilage lesions: an extremity-dedicated low-field magnetic resonance imaging analysis of 1703 Chinese cases. *Scandinavian Journal of Surgery*, 105(3), 197–203, <https://doi.org/10.1177/1457496915607409>.
- Maigne, J.Y., Cornelis, P., Chatellier, G. (2012). Lower back pain and neck pain: is it possible to identify the painful side by palpation only?. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(2), 103–111, <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2012.01.001>.
- Masic, A., Bertinetti, L., Schuetz, R., Chang, S.W., Metzger, T.H., Buehler, M.J., Fratzl, P. (2015). Osmotic pressure induced tensile forces in tendon collagen. *Nature Communications*, 6, 5942, <https://doi.org/10.1038/ncomms6942>.
- Menon, R.G., Oswald, S.F., Raghavan, Regatte, R.R., Stecco, A. (2020). T1ρ-Mapping for musculoskeletal pain diagnosis: case series of variation of water bound glycosaminoglycans quantification before and after Fascial Manipulation® in subjects with elbow pain. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 708, <https://doi.org/10.3390/ijerph17030708>.
- Monk, A.P., Doll, H.A., Gibbons, C.L., Ostlere, S., Beard, D.J., Gill, H.S., Murray, D.W. (2011). The patho-anatomy of patellofemoral subluxation. *Journal of Bone and Joint Surgery British*, 93(10), 1341–1347, <https://doi.org/10.1302/0301-620X.93B10.27205>.
- Pal, S., Besier, T.F., Beaupre, G.S., Fredericson, M., Delp, S.L., Gold, G.E. (2013). Patellar maltracking is prevalent among patellofemoral pain subjects with patella alta: an upright, weightbearing MRI study. *Journal of Orthopaedic Research*, 31(3), 448–457, <https://doi.org/10.1002/jor.22256>.
- Sleboda, D.A., Roberts, T.J. (2017). Incompressible fluid plays a mechanical role in the development of passive muscle tension. *Biology Letters*, 13(1), 20160630, <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0630>.
- Stecco, A., Giordani, F., Fede, C., Pirri, C., De Caro, R., Stecco, C. (2023). From muscle to the myofascial unit: current evidence and future perspectives. *International Journal of Molecular Science*, 24(5), 4527, <https://doi.org/10.3390/ijms24054527>.

- Stecco, C., Caro, R. (2019). Ejtm special on muscle fascia. *European Journal of Translational Myology*, 29(1), 8060, <https://doi.org/10.4081/ejtm.2019.8060>.
- Stecco, C., Porzionato, A., Macchi, V., Tiengo, C., Parenti, A., Aldegheri, R., Delmas, V., De Caro, R. (2006). Histological characteristics of the deep fascia of the upper limb. *Italian Journal of Anatomy and Embryology*, 111(2), 105–110.
- Trybulski, R., Kuźdżał, A., Wilk, M., Więckowski, J., Fostiak, K., Muracki, J. (2024). Reliability of MyotonPro in measuring the biomechanical properties of the quadriceps femoris muscle in people with different levels and types of motor preparation. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1453730, <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1453730>.
- Wilke, J., Macchi, V., De Caro, R., Stecco, C. (2019). Fascia thickness, aging and flexibility: is there an association?. *Journal of Anatomy*, 234(1), 43–49, <https://doi.org/10.1111/joa.12902>.

ABSTRACT

Assessment of the viscoelastic properties of the lateral line
in the Fascial Manipulation® Model according to Stecco
under conditions of Increased Water consumption

Introduction. The study was designed to examine the effect of increased water consumption on the viscoelastic properties of the soft tissues within the lateral line. **Material.** The study included 57 healthy adults (28 women and 29 men) aged 18–50 years. **Methods.** The participants were randomly allocated to one of two groups: the experimental group ($n = 28$), instructed to increase water consumption to > 3 l/day for 20 days, and the control group ($n = 29$), which maintained their habitual hydration levels. The viscoelastic properties of the lateral myofascial line were evaluated bilaterally with a MyotonPro device both prior to and following the experiment. **Results.** Significant differences in tissue reactivity were identified between the groups ($p < 0.05$), along with marked variation in total fluid intake: participants in the experimental group consumed approximately 65 l over the course of the study, compared with approximately 30 l in the control group. **Conclusions.** An increased level of water consumption exerted a beneficial effect on the function of the examined soft tissues within the lateral line.

Keywords: soft tissues, hydration, water consumption, MyotonPro, fascia

Adres do korespondencji
e-mail: jwiercinski.fizjo@gmail.com

III TEMATY RÓŻNE

ŁUKASZ BARCIKOWSKI¹, DARIUSZ JAMRO²,
GRZEGORZ ŻUREK³, MACIEJ LACHOWICZ⁴

¹ Centrum Szkolenia Wojsk Inżynieryjnych i Chemicznych
im. gen. Jakuba Jasińskiego we Wrocławiu

² Zakład Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wojsk Lądowych
im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu

³ Katedra Biologicznych Podstaw Aktywności Fizycznej, Akademia
Wychowania Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

⁴ Katedra Podstaw Fizjoterapii i Terapii Zajęciowej, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

LICZBA BŁĘDNYCH REAKCJI W TEŚCIE DETERMINACJI A WYNIKI STRZELECKIE U PODCHORAŻYCH

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była analiza związków między celnością strzelania a wskaźnikami w adaptacyjnym Teście Determinacji (TD). **Materiał.** W badaniach wzięło udział 92 podchorążych (mężczyzn) (wiek: $19,98 \pm 1,45$ roku). **Metody.** Celność oceniano w próbie strzelania do celu stałego (100 m) w postawie leżącej z podpórką. Badani mieli do wykonania 5 strzałów z przyrządów otwartych (muszka i szczerbinka). Mogli uzyskać 0–50 pkt. Za pomocą TD wyliczono wskaźnik złożony programu (odporność na stres), medianę czasu reakcji oraz liczbę błędnych reakcji. Normalność rozkładów oceniono testem Shapiro–Wilka; zależności analizowano korelacją rang Spearmana ($\alpha = 0,05$). **Wyniki.** Średnia celność strzelania wyniosła $32,92 \pm 9,49$ pkt. Wykazano silny ujemny związek między liczbą błędnych reakcji w TD a celnością strzelania ($\rho = -0,59$; $p < 0,001$). Nie stwierdzono istotnych zależności między celnością strzelania a medianą czasu reakcji ($\rho = 0,15$; $p = 0,17$) ani odpornością na stres ($\rho = 0,12$; $p = 0,27$). **Wnioski.** W strzelaniu szkoleniowym bardziej istotna może być trafność oraz adekwatność reakcji (kontrola błędu) niż szybkość reagowania. Liczba błędnych reakcji w TD może stanowić wskaźnik behawioralny powiązany z efektywnością strzelecką. Potrzebne są dalsze badania w protokołach strzeleckich z zastosowaniem dodatkowej presji czasowej. **Słowa kluczowe:** strzelanie, Test Determinacji, kontrola wykonawcza, błędy reakcji, podchorążowie

WPROWADZENIE

Skuteczność strzelecka pozostaje jednym z kluczowych komponentów gotowości bojowej, ponieważ w wielu scenariuszach działań taktycznych umiejętność użycia broni (precyzja, powtarzalność procedury strzału, kontrola błędów) warunkuje bezpośrednio powodzenie zadania oraz bezpieczeństwo własne i zespołu. W warunkach szkolenia wojskowego strze-

lanie do celu stałego z przyrządów mechanicznych wymaga nie tylko sprawności technicznej, lecz także kontroli uwagi i reakcji – utrzymania koncentracji na sygnałach istotnych (cel, zgrywanie przyrządów, praca na spuście) oraz hamowania reakcji nieoptymalnych (np. „szarpnięcia” spustu, przedwczesnego oddania strzału, przeniesienia uwagi na inne bodźce). Z perspektywy nauk o poznaniu i zachowaniu strzelanie jest szczególnym typem zadania sensomotorycznego, w którym za krytyczne uznaje się procesy selekcji bodźców, kontrolę wykonawczą i monitorowanie błędu.

Liczne dane wskazują, że presja czasu, wysoka gęstość bodźców oraz wzrost pobudzenia i niepokoju mogą modyfikować działanie kontroli poznawczej w sposób, który nie zawsze przejawia się spadkiem efektywności rozumianej jako wynik końcowy, lecz częściej pogorszeniem wydajności przetwarzania (większym kosztem zasobów, większą podatnością na dystrakcję, większą liczbą błędów wykonania). W ramach teorii kontroli uwagi (ang. *attentional control theory*) zakłada się, że lęk osłabia mechanizmy uwagi ukierunkowanej na cel (ang. *top-down*) oraz sprzyja dominacji przetwarzania sterowanego bodźcem (ang. *bottom-up*), co szczególnie negatywnie wpływa na funkcje wykonawcze związane z hamowaniem i przełączaniem (Eysenck i wsp., 2007). W konsekwencji w zadaniach wymagających szybkiej selekcji informacji i trafnego mapowania bodziec–reakcja spodziewany jest wzrost liczby reakcji nieadekwatnych, nawet jeśli średni czas reakcji nie ulega wyraźnemu wydłużeniu lub jeśli wykonujący kompensuje deficyt zwiększonym wysiłkiem (Eysenck i wsp., 2007).

W badaniach nad zachowaniem policjantów i osób szkolonych do posługiwania się bronią w warunkach zagrożenia wykazano, że wzrost lęku oraz obciążenia poznawczego może obniżać celność oraz sprzyjać bardziej impulsywnym decyzjom i reakcjom. W klasycznych badaniach terenowo-eksperymentalnych przeprowadzonych u policjantów odnotowano spadek jakości wykonania strzału w warunkach wysokiego lęku (symulowane „shoot-back”), a także zmianę wzorców zachowania towarzyszących wykonaniu zadania (Nieuwenhuys i Oudejans, 2010). Nieuwenhuys i Oudejans (2012) pokazali także, że podwyższona niepewność i lęk zwiększają tendencję do reakcji „strzelaj” w sytuacjach decyzyjnych (ang. *shoot/no-shoot*), czyli do błędów o potencjalnie krytycznych konsekwencjach operacyjnych. Co istotne, autorzy wskazują, że efekty te można rozumieć w kategoriach przesunięcia równowagi między kontrolą celową a przetwarzaniem bodźcowym oraz zaburzeń monitorowania i hamowania reakcji w warunkach presji.

Z perspektywy aplikacyjnej ważne jest jednak nie tylko to, że presja obniża wynik, ale jakie komponenty psychomotoryczne są najbardziej związane z jakością strzelania. Przeglądy badań obejmujących populacje wojskowych wskazują, że na wyniki strzeleckie oddziałują zarówno czynniki fizyczne i techniczne, jak i poznawcze (uwaga, kontrola wykonawcza, podatność na błędy), przy czym związki te zależą od charakterystyki zadania (np. statyczne vs dynamiczne, ograniczenie czasu, warunki stresu) (Simas i wsp., 2022). Pojawiają się również doniesienia wskazujące, że osoby częściej popełniające błędy poznawcze mogą osiągać gorsze wyniki w zadaniach strzeleckich oraz w sytuacjach wymagających użycia siły. Sugeruje to, że jakość kontroli reakcji może być istotnym wskaźnikiem behawioralnym związanym ze skutecznością strzelecką (Biggs i wsp., 2023).

W tym kontekście szczególnie interesujące stają się narzędzia diagnostyczne, które pozwalają badać zdolność reagowania pod presją czasu i w warunkach obciążenia bodźcami. Jednym z nich jest adaptacyjny Test Determinacji z systemu Vienna Test System (Schuhfried GmbH, Mödling, Austria). Jest to komputerowy test reakcji, w którym badany odpowiada na bodźce wzrokowe i dźwiękowe za pomocą odpowiednich przycisków. W wersji adaptacyjnej tempo prezentacji bodźców dostosowuje się do aktualnego poziomu wykonania, dzięki czemu zadanie odzwierciedla narastające wymagania czasowe i rosnące obciążenie informacyjne. W takiej procedurze szczególnego znaczenia nabierają nie tylko wskaźniki szybkości (np. mediana czasu reakcji), lecz także wskaźniki jakości kontroli reakcji, takie jak liczba błędnych odpowiedzi.

Eysenck i wsp. (2007) oraz Nieuwenhuys i Oudejans (2012) sugerują, że w zadaniach sensomotorycznych wykonywanych pod presją to właśnie błędy wykonania (reakcje nieadekwatne, decyzje impulsywne) mogą być największym przejawem spadku kontroli poznawczej, a niekoniecznie sama szybkość reakcji. Z tego względu zasadne było sprawdzenie, czy w grupie szkoleniowej badanych podchorążych liczba błędnych reakcji w TD – jako behawioralny wskaźnik jakości selekcji bodźców i kontroli odpowiedzi w warunkach narastającej presji czasowej – wiąże się z wynikami strzeleckimi uzyskiwanymi w standardowym strzelaniu szkoleniowym.

CEL BADAŃ

Celem badań była analiza związków pomiędzy zdolnością do poprawnego reagowania na bodźce w warunkach stresu a celnością strzelania z ka-

rabinka. Zgodnie z aktualnym stanem wiedzy autorów niniejszej pracy oraz na podstawie przedstawionych rozważań teoretycznych i empirycznych przyjęto, że jakość kontroli reakcji w warunkach ograniczonego czasu i narastającego obciążenia będzie istotnie związana z wynikami strzeleckimi.

Sformułowano hipotezę główną, zgodnie z którą większa liczba błędnych reakcji w TD będzie się wiązała z gorszą celnością strzelania z karabinka. Ponadto przyjęto dwie hipotezy pomocnicze: (1) krótsza mediana czasu reakcji będzie związana z wyższą celnością strzelania oraz (2) wyższy wskaźnik odporności na stres w TD będzie związany z lepszą celnością w strzelaniu z karabinka.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w okresie od kwietnia do czerwca 2023 r. Projekt badawczy uzyskał zgodę Rektora–Komendanta Akademii Wojsk Lądowych im. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu (nr 271 z dnia 18.01.2021) oraz zgodę Senackiej Komisji ds. Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego we Wrocławiu (nr 2/2021 z dnia 12.02.2021). Badania przeprowadzono zgodnie z zasadami Deklaracji Helsińskiej z 1964 r. oraz jej późniejszymi zmianami (lub porównywalnymi standardami etycznymi). Od wszystkich uczestników uzyskano pisemną świadomą zgodę na udział w badaniu.

Osoby badane

Badaniami objęto 92 podchorążych (mężczyzn), studentów I roku Akademii Wojsk Lądowych im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu kształcących się w specjalności aeromobilnej. Średni wiek badanych wynosił 19,98 ($\pm 1,45$) roku. Dobór próby był celowy i uwzględniał wszystkich dostępnych podchorążych realizujących dany tok szkolenia oraz posiadających takie samo doświadczenie strzeleckie, tj. na poziomie pierwszego roku szkolenia strzeleckiego w AWL realizowanego według standardów szkolenia, bez dodatkowego doświadczenia, które mogliby zdobyć w trakcie pierwszego roku kształcenia lub przed rozpoczęciem studiów. Specjalność aeromobilna obejmuje przygotowanie do działań desantowo-szturmowych i manewrowych realizowanych często w warunkach podwyższonego obciążenia zadaniowego, kiedy sprawne przetwarzanie bodźców i kontrola reakcji są krytyczne dla efektywności działania.

Metody

Celność strzelania z karabinka

Celność strzelania oceniono na podstawie wyników strzelania z karabinka do celu stałego, zgodnie z programem strzeleckim obowiązującym w Siłach Zbrojnych RP. Strzelanie polegało na prowadzeniu ognia z karabinka w postawie leżącej z wykorzystaniem podpórki do nieruchomego celu (tarczy) oddalonego o 100 m. Strzelający miał do dyspozycji 5 nabojów. Zadanie polegało na strzelaniu ogniem pojedynczym. Czas na wykonanie próby nie był ograniczony, regulował go sam strzelający. Zadanie kończyło się w momencie oddania piątego strzału. Przed właściwym pomiarem nie przeprowadzano odrębnych prób zapoznawczych, ponieważ zadanie miało charakter standardowego elementu szkolenia wojskowego i wszyscy uczestnicy projektu zostali zaznajomieni z procedurą strzelania w ramach jednolitego programu szkolenia. W teście istotna była celność i skupienie badanego, który mógł namierzać cel wyłącznie za pomocą stałych, mechanicznych przyrządów celowniczych, tzw. muszki i szczerbinki. Nie używano dodatkowych optycznych przyrządów celowniczych.

Dołożono wszelkich starań, aby próba strzelania odbywała się w zbliżonych warunkach środowiskowych. Test przeprowadzono w ciągu jednego dnia, w godzinach okołopołudniowych na strzelnicy garnizonowej we Wrocławiu. Badani strzelali z własnej, przypisanej im broni, z użyciem amunicji zawierającej pocisk i z zachowaniem wszelkich procedur bezpieczeństwa obowiązujących w Wojsku Polskim. Wynik próby stanowiła liczba punktów w przedziale 0–50. Celność strzelania z karabinka potraktowano jako zmienną wyjaśnianą.

Zdolność poprawnego reagowania na bodźce w warunkach stresu

W celu oceny zdolności szybkiego i trafnego reagowania w warunkach wysokiej gęstości bodźców oraz presji czasu zastosowano TD w wersji adaptacyjnej z systemu Vienna Test System (Schuhfried GmbH, Mödling, Austria). TD to komputerowe zadanie reakcyjne obejmujące jednoczesne przetwarzanie bodźców wzrokowych i słuchowych oraz wykonywanie odpowiedzi motorycznych zgodnie z przypisaniem bodziec–reakcja. W wersji adaptacyjnej tempo prezentacji bodźców dostosowuje się dynamicznie do poziomu wykonania osoby badanej: poprawne i szybkie

reakcje skutkują zwiększeniem tempa, natomiast opóźnienia i błędy – jego zwolnieniem. W konsekwencji zadanie modeluje warunki wysokiego obciążenia informacyjnego i presji czasowej, które są kluczowe w sytuacjach determinujących utrzymanie jakości działania przy narastających wymaganiach zadaniowych.

Podczas realizowania testu uczestnicy projektu mieli zapewnione podobne warunki: przystępowali do niego indywidualnie, w godzinach przedpołudniowych, zadanie rozwiązywali w cichym pomieszczeniu, na tym samym stanowisku komputerowym. Z TD wyodrębniono trzy wskaźniki ilościowe traktowane jako zmienne wyjaśniające: (1) odporność na stres, (2) medianę czasu reakcji, (3) liczbę błędnych reakcji.

1. Odporność na stres. Wskaźnik nazywany w raporcie TD odpornością na stres interpretowano jako zdolność badanego do utrzymania poprawnego reagowania mimo wzrostu tempa oraz trudności zadania. Jest to złożony wskaźnik wynikowy generowany przez oprogramowanie, odzwierciedlający ogólną efektywność w warunkach adaptacyjnego zwiększania wymagań czasowych. Wyższa wartość oznacza lepszą zdolność utrzymania jakości odpowiedzi w warunkach presji czasu i dużej liczby bodźców.
2. Mediana czasu reakcji. Mediana czasu reakcji została obliczona automatycznie jako mediana czasu odpowiedzi na bodźce, dla których zarejestrowano reakcję zgodną z kluczem bodziec–reakcja. Zastosowanie mediany ogranicza wpływ pojedynczych reakcji skrajnie wydłużonych (np. chwilowa utrata koncentracji) na wartość wskaźnika globalnego. Niższa wartość mediany wskazuje na szybsze przetwarzanie informacji i sprawniejsze inicjowanie reakcji motorycznej w warunkach wysokiej dynamiki bodźców.
3. Liczba błędnych reakcji. Liczba błędnych reakcji obejmowała odpowiedzi klasyfikowane przez system jako niezgodne z aktualnie prezentowanym bodźcem, zwłaszcza naciśnięcie niewłaściwego przycisku względem klucza bodziec–reakcja oraz reakcje nieadekwatne do sytuacji bodźcowej (np. reakcje przedwczesne). W ujęciu funkcjonalnym jest to wskaźnik jakości selekcji bodźców, kontroli reakcji oraz odporności na impulsywne „reakcje z rozpędu” w warunkach rosnących wymagań czasowych. W kontekście strzelania z broni długiej parametr ten jest szczególnie istotny, ponieważ odzwierciedla tendencję do reakcji nieprecyzyjnych lub nieoptymalnych w działaniach pod presją zadaniową.

Analiza statystyczna

Dla wszystkich zmiennych obliczono statystyki opisowe: średnią arytmetyczną ($\bar{x}$), odchylenie standardowe (SD), błąd standardowy średniej (SEM), 95% przedziały ufności dla średniej (95% CI) oraz wartości minimalne i maksymalne (min.–max). Normalność rozkładów oceniono za pomocą testu Shapiro–Wilka.

Ze względu na stwierdzone odchylenia od normalności dla części zmiennych do oceny zależności pomiędzy celnością strzelania (zmienna wyjaśniana) a wskaźnikami uzyskanymi w TD (odporność na stres, mediana czasu reakcji, liczba błędnych reakcji; zmienne wyjaśniające) oraz wiekiem zastosowano korelację rang Spearmana. Wszystkie testy miały charakter dwustronny, a poziom istotności statystycznej ustalono na $\alpha = 0,05$. Wyniki raportowano jako wartości p wraz z odpowiadającymi im wartościami p . Analizy statystyczne przeprowadzono w programie JASP 0.19.2.

WYNIKI

W tabeli 1 przedstawiono statystyki opisowe wyników próby strzelania oraz wskaźników uzyskanych w TD. W badanej grupie podchorążych średnia celność strzelania wynosiła $32,92 \pm 9,49$ pkt (95% CI: 30,96–34,89; min.–max: 14–47).

W tabeli 2 przedstawiono wyniki analizy korelacji rang Spearmana pomiędzy celnością strzelania a wskaźnikami wykonania w TD oraz wiekiem badanych. Wykazano silny ujemny związek między liczbą błędnych

Tabela 1. Statystyki opisowe wyników strzeleckich oraz wskaźników otrzymanych w TD w badanej grupie ($n = 92$)

Zmienna	$\bar{x} \pm SD$	SEM	95% CI	Min.–max	W	p
Odporność na stres (liczba)	$488,73 \pm 70,97$	7,40	474,03–503,43	259,00–669,00	0,99	0,87
Błędne reakcje (liczba)	$56,61 \pm 35,86$	3,74	49,18–64,03	9,00–293,00	0,76	< 0,001
Mediana czasu reakcji (s)	$0,74 \pm 0,06$	0,006	0,73–0,75	0,60–0,97	0,97	0,04
Celność strzelania (pkt)	$32,92 \pm 9,49$	0,99	30,96–34,89	14,00–47,00	0,94	< 0,001
Wiek (lata)	$19,98 \pm 1,45$	0,15	19,67–20,28	18,07–27,72	0,76	< 0,001

Tabela 2. Korelacje rang Spearmana (ρ) między celnością strzelania a wskaźnikami uzyskanymi w TD oraz wiekiem badanych ($n = 92$)

Zmienna	1	2	3	4	5
1. Odporność na stres (liczba)	–	–0,20 (0,050)	–0,63 ($< 0,001$)	0,12 (0,27)	–0,15 (0,14)
2. Błędne reakcje (liczba)		–	–0,27 (0,0086)	–0,59 ($< 0,001$)	0,11 (0,30)
3. Mediana czasu reakcji (s)			–	0,15 (0,17)	0,11 (0,28)
4. Celność strzelania (pkt)				–	0,01 (0,96)
5. Wiek (lata)					–

reakcji w TD a celnością strzelania ($\rho = -0,59$; $p < 0,001$), co wskazuje, że większa liczba reakcji błędnych wiązała się z niższą punktacją strzelecką. Nie stwierdzono istotnych statystycznie związków celności strzelania ze wskaźnikami uzyskanymi w TD: odpornością na stres ($\rho = 0,12$; $p = 0,27$), medianą czasu reakcji ($\rho = 0,15$; $p = 0,17$) ani z wiekiem ($\rho = 0,01$; $p = 0,96$).

DYSKUSJA

Na podstawie zebranych wyników wykazano silny ujemny związek pomiędzy liczbą błędnych reakcji w TD a celnością strzelania ($\rho = -0,59$; $p < 0,001$), co wskazuje, że podchorążowie częściej przejawiający reakcje nieadekwatne w zadaniu o narastającej presji czasu osiągnęli gorsze wyniki strzeleckie. Uzyskane wyniki potwierdziły hipotezę główną, natomiast nie potwierdziły hipotez pomocniczych dotyczących mediany czasu reakcji oraz wskaźnika odporności na stres. Nie wykazano istotnego związku pomiędzy celnością strzelania a medianą czasu reakcji ($\rho = 0,15$; $p = 0,17$) ani odpornością na stres ($\rho = 0,12$; $p = 0,27$). Profil wyników sugeruje, że w badanym protokole strzeleckim kluczowe znaczenie może mieć jakość kontroli reakcji (trafność i adekwatność odpowiedzi), a nie sama szybkość przetwarzania bodźców. Należy jednak podkreślić, że odnotowana istotna statystycznie zależność ma charakter korelacyjny i nie uprawnia do wnioskowania o związku przyczynowo-skutkowym ani o jednoznacznej wartości prognostycznej liczby błędnych reakcji względem wyników strzeleckich.

Interpretacja ta jest spójna z ramami teoretycznymi zakładającymi, że wzrost pobudzenia i obciążenia poznawczego w pierwszej kolejności osłabia procesy kontroli uwagi i hamowania, zwiększając udział reakcji automatycznych lub sterowanych bodźcem (Arnsten, 2009, Eysenck i wsp.,

2007). W literaturze dotyczącej działań pod presją podkreśla się, że pogorszenie wykonania zadania często manifestuje się jako wzrost błędów decyzyjnych i wykonawczych (np. większa skłonność do „strzelaj” w zadaniach decyzyjnych) oraz spadek dokładności – nawet jeśli czas reakcji nie stanowi czynnika limitującego (Nieuwenhuys i Oudejans, 2012). Wyniki badań własnych wzmacniają te doniesienia, wskazując, że behawioralny wskaźnik błędów w adaptacyjnym zadaniu reakcyjnym może odzwierciedlać komponent kontroli poznawczej ważny również dla strzelania szkoleniowego.

Brak istotnego związku pomiędzy celnością a medianą czasu reakcji można tłumaczyć w świetle specyfiki próby strzeleckiej: zadanie polegające na strzelaniu nie było limitowane czasowo i promowało stabilność oraz precyzję, a nie szybkość oddania strzału. W takim układzie relacja szybciej-lepiej nie musi zachodzić; przeciwnie, utrzymanie poprawnej sekwencji czynności i hamowanie nieoptymalnych reakcji może być ważniejsze niż prędkość reagowania w zadaniu laboratoryjnym. Co więcej, w pracach nad użyciem broni w warunkach stresu obserwowano typowy kompromis szybkość–dokładność, kiedy wzrost presji sprzyjał szybszym, ale mniej trafnym reakcjom (Nieuwenhuys i Oudejans, 2010). W badaniach własnych to właśnie komponent dotyczący dokładności reakcji (błędy) – a nie tempo – różnicował osoby lepiej i gorzej strzelające, co jest zgodne z założeniem, że mechanizmem krytycznym może być kontrola impulsu i selekcja odpowiedzi, a nie szybkość.

Wskaźnik odporności na stres generowany w TD nie wiązał się z celnością. Jest to wskaźnik złożony, odnoszący się do utrzymania jakości wykonania w warunkach adaptacyjnego przyspieszania bodźców, a nie bezpośrednia miara fizjologicznej reakcji stresowej organizmu, takiej jak np. zmiany hormonalne lub wskaźniki pracy autonomicznego układu nerwowego). Brak związku może zatem wynikać z częściowej nieadekwatności konstruktu względem specyficznych wymagań strzelania (kontrola ruchu, stabilizacja, praca spustu) oraz z faktu, że strzelanie szkoleniowe w postawie leżącej z podpórką do celu stałego redukuje niektóre stresory obecne w sytuacjach bardziej dynamicznych (ograniczenie czasu, zagrożenie, ruch celu, decyzja strzelać/nie strzelać). Nieuwenhuys i Oudejans (2017) oraz Simas i wsp. (2022) wskazują, że zależność między lękiem a wykonaniem jest silnie moderowana przez typ zadania oraz warunki presji.

Z perspektywy praktyki szkoleniowej wykazany związek między błędami popełnianymi w TD a celnością strzelania sugeruje, że wskaźniki

jakości reakcji w zadaniach związanych z rosnącą presją czasu mogą być rozpatrywane jako zmienne współwystępujące z mniejszą celnością strzelania w zadaniach wymagających precyzji. Jednocześnie nie należy interpretować tej zależności jako relacji przyczynowej ani jako podstawy do formułowania mocnych wniosków prognostycznych, ponieważ przedstawione badania miały charakter korelacyjny i nie uwzględniały potencjalnych czynników zakłócających. Zebrane wyniki są jednak zgodne z podejściem aplikacyjnym, w którym trening pod presją (np. z kontrolowanym wzrostem stresu) może poprawiać jakość wykonania i ograniczać błędy w warunkach obciążenia (Nieuwenhuys i Oudejans, 2011). Wymaga to potwierdzenia w badaniach interwencyjnych, łączących strzelanie w warunkach presji z pomiarami poznawczymi i fizjologicznymi.

W przyszłych badaniach zasadne byłoby również zastosowanie analiz wielowymiarowych, które pozwoliłyby lepiej ocenić znaczenie liczby błędnych reakcji dla wyników strzeleckich. W szczególności użyteczne mogłyby tu być modele regresji liniowej lub regresji wielorakiej, w których celność strzelania stanowiłaby zmienną zależną, a wskaźniki wykonania w TD – zmienne objaśniające. Takie podejście umożliwiłoby sprawdzenie, czy liczba błędnych reakcji zachowuje istotność statystyczną po uwzględnieniu potencjalnych czynników zakłócających, takich jak np. aktywność fizyczna czy zmęczenie. W niniejszym projekcie badawczym część tych zmiennych nie została zmierzona, dlatego ich uwzględnienie w analizie nie było możliwe.

OGRANICZENIA

Badania miały charakter przekrojowy i opierały się wyłącznie na analizie korelacji, co nie pozwala na wnioskowanie przyczynowo-skutkowe o potencjalnym wpływie wskaźników TD na celność strzelania. Ponadto próba była jednorodna, co ogranicza możliwość uogólnienia wyników na inne populacje. Kolejnym ograniczeniem było zastosowanie statycznego protokołu strzeleckiego (cel stały, postawa leżąca z podpórka, brak limitu czasu), a to zmniejszyło reprezentatywność względem warunków operacyjnych i dynamicznych (np. ograniczenie czasu, cele ruchome, komponent decyzyjny „strzelaj/nie strzelaj”).

Dodatkowo w przedstawionym projekcie nie mierzono bezpośrednio części potencjalnych zmiennych zakłócających, takich jak poziom aktywności fizycznej czy zmęczenie, ograniczając tym samym możliwość zastosowania bardziej zaawansowanych modeli wielowymiarowych.

WNIOSKI

W badanej grupie podchorążych stwierdzono istotny, silny ujemny związek pomiędzy liczbą błędnych reakcji w TD a celnością strzelania z karabinka, co wskazuje, że niższa jakość kontroli reakcji pod presją wiąże się z gorszym wynikiem strzeleckim. Nie wykazano istotnych zależności pomiędzy celnością strzelania a medianą czasu reakcji, wskaźnikiem odporności na stres w TD oraz wiekiem. Uzyskane wyniki sugerują, że liczba błędnych reakcji może być potencjalnym wskaźnikiem behawioralnym powiązanim z celnością strzelania, jednak zależność ta wymaga potwierdzenia w dalszych badaniach, w szczególności z zastosowaniem analiz wielowymiarowych uwzględniających możliwe czynniki zakłócające.

BIBLIOGRAFIA

- Arnsten, A.F.T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. *Nature Reviews Neuroscience*, 10(6), 410–422, <https://doi.org/10.1038/nrn2648>.
- Biggs, A.T., Hamilton, J.A., Thompson, A.G., Jensen, A., Suss, J., Kelly, K., Markwald, R.R. (2023). Not according to plan: cognitive failures in marksmanship due to effects of expertise, unknown environments, and the likelihood of shooting unintended targets. *Applied Ergonomics*, 112, 104058, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2023.104058>.
- Eysenck, M.W., Derakshan, N., Santos, R., Calvo, M.G. (2007). Anxiety and cognitive performance: Attentional control theory. *Emotion*, 7(2), 336–353, <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.336>.
- Nieuwenhuys, A., Oudejans, R.R.D. (2010). Effects of anxiety on handgun shooting behavior of police officers: a pilot study. *Anxiety, Stress, and Coping*, 23(2), 225–233, <https://doi.org/10.1080/10615800902977494>.
- Nieuwenhuys, A., Oudejans, R.R.D. (2011). Training with anxiety: short- and long-term effects on police officers' shooting behavior under pressure. *Cognitive Processing*, 12(3), 277–288, <https://doi.org/10.1007/s10339-011-0396-x>.
- Nieuwenhuys, A., Oudejans, R.R.D. (2012). Anxiety and perceptual-motor performance: toward an integrated model of concepts, mechanisms, and processes. *Psychological Research*, 76(6), 747–759, <https://doi.org/10.1007/s00426-011-0384-x>.
- Nieuwenhuys, A., Oudejans, R.R.D. (2017). Anxiety and performance: perceptual-motor behavior in high-pressure contexts. *Current Opinion in Psychology*, 16, 28–33, <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2017.03.019>.
- Schuhfried GmbH. (b.d.). *Vienna Test System: Determination Test – adaptive (DT-S2)*. Pobrano 18.02.2026 z: <https://www.schuhfried.com/en/vienna-test-system/about-the-vienna-test-system/>

Simas, V., Schram, B., Canetti, E.F.D., Maupin, D., Orr, R. (2022). Factors influencing marksmanship in police officers: a narrative review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21), 14236, <https://doi.org/10.3390/ijerph192114236>.

ABSTRACT

The number of incorrect responses in the determination test is associated with shooting performance in officer cadets

Introduction. The study was designed to examine the relationships between shooting accuracy and indices from the adaptive Determination Test (DT).

Material. The study included 92 male officer cadets (age: 19.98 ± 1.45 years).

Methods. Accuracy was evaluated using a fixed-target shooting task (100 m) performed in the prone position with support. Participants fired five shots using open sights (front sight and rear sight). Scores ranged from 0 to 50 points. The DT was used to derive a composite programme index (stress resistance), median reaction time and the number of incorrect responses. Normality was assessed using the Shapiro–Wilk test; relationships were analysed using Spearman’s rank correlation ($\alpha = 0.05$). **Results.** Mean shooting accuracy was 32.92 ± 9.49 points. A strong negative association was identified between the number of incorrect responses in the DT and shooting accuracy ($\rho = -0.59$; $p < 0.001$). No significant relationships were observed between shooting accuracy and median reaction time ($\rho = 0.15$; $p = 0.17$) or stress resistance ($\rho = 0.12$; $p = 0.27$). **Conclusions.** In training shooting tasks, response accuracy and appropriateness (error control) may play a more critical role than response speed. The number of incorrect responses in the DT may serve as a behavioural indicator associated with shooting performance. Further studies should incorporate shooting protocols involving additional time constraints.

Keywords: shooting, Determination Test, response errors, executive control, officer cadets

Adres do korespondencji
e-mail: dariusz.jamro@awl.edu.pl

ASTRID BROJANOWSKA¹, PAWEŁ ADAM PIEPIORA²

¹ Szkoła Doktorska, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Katedra Dydaktyki Sportu, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

MOTYWACJA DO PODEJMOWANIA ZACHOWAŃ ZDROWOTNYCH A WARTOŚCI OSOBISTE OSÓB DOROSŁYCH

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było pozyskanie wiedzy na temat związku między wartościami osobistymi a motywacją do zachowań zdrowotnych przez osoby dorosłe. **Materiał.** Przebadano 159 osób w wieku 18–69 lat, w tym 90 kobiet i 69 mężczyzn. **Metody.** Zastosowano Kwestionariusz Motywacji Zachowań Zdrowotnych (HBMS) oraz Listę Wartości Osobistych (LWO). **Wyniki.** W całej badanej grupie wykazano częściowy związek między wartościami osobistymi a motywacją do zachowań zdrowotnych. Odnotowano istotne statystycznie korelacje w odniesieniu do wartości osobistej, jaką jest dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna. Okazało się, że motywacja wewnętrzna, integracja, identyfikacja i introjekcja korelują dodatnio z traktowaniem zdrowia jako istotnej wartości w życiu ankietowanych. Odnotowano istotną statystycznie różnicę między kobietami i mężczyznami dotyczącą wartości osobistej „dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna”. **Wnioski.** Uzyskane wyniki są spójne z założeniami teorii autodeterminacji, w której podkreśla się znaczenie wewnętrznych wartości w kontekście zachowań zdrowotnych.

Słowa kluczowe: aktywność fizyczna, Kwestionariusz Motywacji Zachowań Zdrowotnych (HBMS), Lista Wartości Osobistych (LWO), sport, styl życia

WPROWADZENIE

Motywacja do działania powinna pochodzić z silnego, osobistego przekonania, aby przyjąć i podtrzymać dane zachowanie (Collazo-Castineira i wsp., 2025). Motywacja wewnętrzna charakteryzuje osoby, które angażują się w daną aktywność, ponieważ jest ona interesująca lub przyjemna (Marentes-Castillo i wsp., 2022). Brojanowska i Piepiora (2025) zauważają taką tendencję u dzieci z pokolenia Alfa, których rodzice deklarowali, że najchętniej wybierają one aktywności wiążące się z autonomią wyboru oraz wspólnym działaniem. Zgodnie z teorią autodeterminacji poczucie autonomii i kompetencji sprzyja rozwojowi motywacji autonomicznej wiążącej się z większym prawdopodobieństwem podejmowania i utrzymywania

nia zachowań zdrowotnych, w tym aktywności fizycznej (Ntoumanis i wsp., 2021). Czynniki warunkujące utrzymanie aktywności fizycznej mają podobny charakter do tych, które są związane z redukcją masy ciała (Matthews i in., 2024).

Zachowania zdrowotne są określane jako osobiste przekonania i wartości, cechy osobowości oraz działania i nawyki odnoszące się do utrzymania, przywracania i poprawy zdrowia (Gochman, 1982, 1988). Podjęcie i podtrzymanie zachowań zdrowotnych łączy się z włożeniem wysiłku w przezwyciężenie zautomatyzowanych procesów sterujących zachowaniem człowieka (Hardcastle i wsp., 2015). Motywacja oparta na wartościach osobistych (nazywana inaczej regulacją zidentyfikowaną) jest silnie związana z wytrwałością (Rożman i wsp., 2025). Wiele działań można zaklasyfikować jako zachowania zdrowotne: palenie tytoniu, zażywanie substancji psychoaktywnych, dietę, aktywność fizyczną, sen (Short i Mollborn, 2015). Osoby wysoko ceniące otwartość na zmiany i samotranscendencję mogą być bardziej zmotywowane do podjęcia aktywności fizycznej, traktując ją jak okazję do nauki i budowania relacji (Liang i wsp., 2025). Chłopczy wykazują większą motywację do podejmowania aktywności fizycznej, podczas gdy dziewczęta napotykają w tej kwestii więcej trudności (Portela-Pino i wsp., 2020).

Dotychczasowe badania nie dostarczają jednoznacznych danych na temat wartości osobistych, jakimi kierują się osoby dorosłe podejmujące działania zdrowotne, w tym aktywność fizyczną. Autorzy skupiają się w większym stopniu na rodzaju motywacji, jaka towarzyszy jednostce angażującej się w ćwiczenia fizyczne. Podobnie jest w przypadku analiz porównujących wartości, jakimi kierują się kobiety i mężczyźni, podejmując aktywność ruchową. Zmiennymi różnicującymi są najczęściej poziom i rodzaj motywacji, wiek bądź relacje społeczne.

CEL BADAŃ

Celem badań była próba zdobycia wiedzy na temat związku między motywacją do zachowań zdrowotnych a wartościami osobistymi osób dorosłych. Postawiono następujące pytania badawcze:

1. Jaki jest związek między wartościami osobistymi a motywacją do zachowań zdrowotnych w całej grupie badanej?
2. Jakie są różnice między kobietami i mężczyznami w zakresie wartości osobistych i motywacji do zachowań zdrowotnych?

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 159 osób, w tym 90 kobiet i 69 mężczyzn, w wieku 18–69 lat. Do projektu włączono osoby pełnoletnie, które wyraziły świadomą zgodę na udział w nim oraz były zdolne do samodzielnego wypełnienia kwestionariuszy. Kryterium wykluczenia było nieukończenie badań bądź udzielenie niekompletnych odpowiedzi. Dobór próby miał charakter celowy, zgodnie z przyjętym kryterium pełnoletności. Respondenci nie byli wcześniej znani badaczom. Udział w projekcie był anonimowy i dobrowolny. Zrekrutowane osoby zostały poinformowane o celu badań i o możliwości wycofania się z nich na dowolnym etapie.

Metody

W projekcie posłużono się metodą badań przekrojowych z wykorzystaniem standaryzowanych narzędzi badawczych. Do pomiaru motywacji do zachowań zdrowotnych zastosowano Kwestionariusz Motywacji Zachowań Zdrowotnych (Health Behavior Motivation Scale, HBMS) autorstwa Poraj-Weder i wsp. (2021). Kwestionariusz składa się z dwóch części, z których jedna odnosi się do zachowań prozdrowotnych (61 pozycji), a druga do motywów zachowań prozdrowotnych (ta część nie podlegała analizie). Ankietowani zaznaczają swoje odpowiedzi na 6-stopniowej skali, gdzie 0 oznacza „dane stwierdzenie w ogóle do mnie nie pasuje”, 1 – „dane stwierdzenie bardzo słabo do mnie pasuje”, 2 – „dane stwierdzenie słabo do mnie pasuje”, 3 – „dane stwierdzenie średnio do mnie pasuje”, 4 – „dane stwierdzenie mocno do mnie pasuje”, 5 – „dane stwierdzenie bardzo mocno do mnie pasuje”, 6 – „nie mam zdania”. HBMS zawiera następujące podskale określające rodzaj motywacji: regulacja wewnętrzna (6 pozycji), integracja (6 pozycji), identyfikacja (6 pozycji), introjekcja (6 pozycji), regulacja zewnętrzna (6 pozycji) oraz amotywacja (6 pozycji). Rzetelność poszczególnych podskal mierzona za pomocą współczynnika zgodności alfa Cronbacha mieści się w przedziale 0,88–0,91, co wskazuje na zadowalającą spójność wewnętrzną.

Do pomiaru wartości osobistych posłużono się Listą Wartości Osobistych (LWO) autorstwa Juczyńskiego (2001). Również to narzędzie składa się z dwóch części: jedna zawiera opis 9 symboli szczęścia odnoszących

się do wartości ludzkich, druga zawiera 10 kategorii wartości osobistych, wśród których znajduje się zdrowie utożsamiane ze sprawnością fizyczną i psychiczną. W pierwszej części LWO ankietowany wybiera pięć symboli szczęścia, stawiając znak „X” w odpowiednim miejscu w kolumnie A. Następnie uporządkowuje symbole według następującej kolejności: 5 pkt przyznaje symbolowi, który jest dla niego najważniejszy, kolejne punkty (4, 3, 2) symbolom mniej ważnym, a 1 pkt symbolowi najmniej ważnemu. Oceny punktowe są wpisuje obok danego symbolu w kolumnie B. W drugiej części, dotyczącej wartości, ankietowany postępuje analogicznie, czyli wybiera pięć najważniejszych wartości (stawiając „X” w kolumnie A) i uporządkowuje je według przyjętej kolejności: 5 pkt wartość najważniejsza, 4, 3, 2 pkt – wartości mniej ważne, 1 pkt – wartość najmniej ważna. Oceny wpisuje w kolumnie B. Rzetelność sprawdzana metodą test-retest w odstępie dwóch tygodni wyniosła 0,78 i 0,76, a po sześciu tygodniach 0,72 i 0,62, co wskazuje na zadowalającą stabilność pomiaru w czasie.

Przebieg badań

Badania przeprowadzono w okresie od grudnia 2019 do marca 2020 r. Odbywały się one w formie stacjonarnej z wykorzystaniem metody papier-ołówek. Respondenci mieli do wypełnienia (każdy indywidualnie) dwa kwestionariusze (HBMS i LWO) oraz krótką ankietę demograficzną zawierającą m.in. podstawowe pytania na temat ich zdrowia. Udzielali odpowiedzi w warunkach zapewniających poufność oraz minimalizujących oddziaływanie czynników zakłócających. Badania przebiegały w obecności osoby prowadzącej, która udzieliła odpowiedniej instrukcji oraz pozostawała dostępna w razie pytań ze strony badanych.

Analiza statystyczna

Analizę statystyczną wykonano za pomocą programu IBM SPSS Statistics. Obliczono średnie arytmetyczne ($\bar{x}$) i odchylenia standardowe (SD). Do oceny korelacji między rodzajami motywacji a wartościami osobistymi zastosowano analizę korelacji rang Spearmana. W celu porównania wyników kobiet i mężczyzn wykorzystano test *U* Manna–Whitneya. Poziom istotności ustalono na $p < 0,05$.

WYNIKI

Na podstawie uzyskanych wyników odnotowano, że symbol szczęścia, jakim jest dobre zdrowie, korelował dodatnio z podskalami kwestionariusza HMBS: identyfikacją oraz introjekcją. W zakresie amotywacji wykazano ujemną korelację z sukcesami w nauce, pracy. W przypadku symbolu szczęścia, jakim jest bycie potrzebnym dla innych ludzi stwierdzono dodatnią korelację z podskalą identyfikacja (tab. 1).

W odniesieniu do wartości osobistych okazało się, że wszystkie istotne statystycznie korelacje dotyczyły dobrego zdrowia, sprawności fizycznej i psychicznej. Wartość ta korelowała dodatnio z takimi podskalami kwestionariusza HMBS, jak regulacja wewnętrzna, integracja, identyfikacja i introjekcja, ujemnie zaś z regulacją zewnętrzną i amotywacją (tab. 2).

W analizie zweryfikowano również różnice między wskazaniami wartości osobistych a motywacjami do zachowań zdrowotnych (tab. 3 i 4). Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy kobietami i mężczyznami w zakresie jakiegokolwiek z badanych rodzajów motywacji ($p > 0,05$). Zauważono, że kobiety uzyskały nieznacznie wyższe średnie wyniki w zakresie wszystkich rodzajów motywacji poza regulacją zewnętrzną, jednak nie odnotowano tu poziomu istotności statystycznej (tab. 3).

Tabela 1. Współczynnik korelacji rho Spearmana między rodzajem motywacji badanych do podejmowania działań zdrowotnych a symbolami szczęścia

Rodzaj motywacji	LWO_1	LWO_2	LWO_3	LWO_4	LWO_5	LWO_6	LWO_7	LWO_8	LWO_9
Regulacja wewnętrzna	0,04	-0,02	-0,04	0,07	0,05	0,08	-0,13	-0,00	-0,09
Integracja	0,01	0,03	-0,06	0,03	0,15	0,11	-0,07	-0,00	-0,08
Identyfikacja	-0,04	0,06	-0,12	0,06	0,21**	0,21*	-0,06	-0,11	-0,01
Introjekcja	-0,00	0,13	-0,04	0,02	0,18*	0,04	0,00	0,00	-0,05
Regulacja zewnętrzna	-0,03	-0,04	-0,12	-0,16	-0,07	0,06	0,14	0,00	0,11
Amotywacja	-0,11	0,01	-0,08	-0,19*	-0,14	-0,01	0,20*	-0,07	0,07

LWO_1 – duży krąg przyjaciół

LWO_2 – udane życie rodzinne

LWO_3 – wykonywanie ulubionej pracy/zawodu

LWO_4 – sukcesy w nauce/pracy

LWO_5 – dobre zdrowie

LWO_6 – bycie potrzebnym innym ludziom

LWO_7 – dobre warunki materialne

LWO_8 – życie pełne przygód, podróży

LWO_9 – sława, popularność

* poziom istotności ustalony na 0,05, ** poziom istotności ustalony na 0,01

Tabela 2. Współczynnik korelacji rho Spearmana między rodzajem motywacji badanych do zachowań zdrowotnych a wartościami osobistymi

Rodzaj motywacji	LWO_W_1	LWO_W_2	LWO_W_3	LWO_W_4	LWO_W_5	LWO_W_6	LWO_W_7	LWO_W_8	LWO_W_9	LWO_W_10
Regulacja wewnętrzna	0,16	0,17*	0,07	-0,05	-0,05	-1,00	-0,05	-0,03	0,06	-0,02
Integracja	0,12	0,25**	0,09	-0,07	-0,06	-0,15	-0,05	0,06	0,03	-0,05
Identyfikacja	0,13	0,28**	-0,01	-0,14	-0,03	-0,14	-0,00	0,12	0,01	-0,01
Introjekcja	0,02	0,20*	0,00	-0,09	0,06	-0,07	-0,02	0,08	0,04	-0,00
Regulacja zewnętrzna	-0,11	-0,21*	0,01	-0,03	-0,04	-0,04	0,02	0,11	0,15	0,12
Amotywacja	-0,13	-0,20*	-0,05	-0,00	-0,07	0,53	0,06	0,02	0,05	0,09

LWO_W_1 – miłość, przyjaźń

LWO_W_2 – dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna

LWO_W_3 – poczucie humoru, dowcip

LWO_W_4 – inteligencja, bystrość umysłu

* poziom istotności ustalony na 0,05

LWO_W_5 – wiedza, mądrość

** poziom istotności ustalony na 0,01

LWO_W_6 – radość, zadowolenie

LWO_W_7 – odwaga, stanowczość

LWO_W_8 – dobroć, delikatność

LWO_W_9 – ładny wygląd zewnętrzny, prezentacja

LWO_W_10 – bogactwo, majątek

Tabela 3. Rodzaje motywacji badanych

Rodzaj motywacji	Kobiety (<i>n</i> = 90)		Mężczyźni (<i>n</i> = 69)		<i>Z</i>	<i>p</i>
	$\bar{x}$	<i>SD</i>	$\bar{x}$	<i>SD</i>		
Regulacja wewnętrzna	3,06	1,37	2,96	1,42	-0,164	0,870
Integracja	3,01	1,27	2,84	1,41	-0,724	0,469
Identyfikacja	3,01	1,22	2,92	1,32	-0,748	0,454
Introjekcja	3,01	1,35	2,73	1,46	-1,397	0,163
Regulacja zewnętrzna	1,75	1,45	1,92	1,52	-0,770	0,442
Amotywacja	1,76	1,44	1,73	1,55	-0,323	0,747

W przypadku wartości osobistych odnotowano istotną statystycznie różnicę między kobietami i mężczyznami. Kobiety wyżej niż mężczyźni oceniali wartość „dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna” ($Z = -2,428$; $p = 0,015$) (tab. 4).

Tabela 4. Wartości osobiste wskazywane przez badanych

Wartości osobiste	Kobiety (<i>n</i> = 90)		Mężczyźni (<i>n</i> = 69)		<i>Z</i>	<i>p</i>
	$\bar{x}$	<i>SD</i>	$\bar{x}$	<i>SD</i>		
Miłość, przyjaźń	3,82	1,48	3,30	2,00	−0,935	0,350
Dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna	3,09	1,86	2,43	1,85	−2,428	0,015
Poczucie humoru, dowcip	1,12	1,60	1,48	1,47	−1,834	0,067
Inteligencja, bystrość umysłu	1,90	1,67	2,16	1,69	−0,948	0,343
Wiedza, mądrość	1,43	1,57	1,28	1,70	−0,693	0,489
Radość, zadowolenie	1,62	1,43	1,80	1,65	−0,502	0,616
Odwaga, stanowczość	0,53	0,95	0,87	1,49	−0,667	0,505
Dobroć, delikatność	1,01	1,39	0,95	1,38	−0,412	0,681
Ładny wygląd zewnętrzny, prezentacja	0,76	1,46	0,50	1,16	−0,850	0,395
Bogactwo, majątek	0,82	1,44	0,93	1,72	−0,402	0,688

DYSKUSJA

Wykazano, że wszystkie istotne statystycznie korelacje dotyczą wartości osobistej, jaką jest „dobre zdrowie, sprawność fizyczna i psychiczna”. Motywacja wewnętrzna, integracja, identyfikacja i introjekcja korelowały dodatnio z traktowaniem zdrowia jako istotnej wartości w życiu badanych. Marentes-Castillo i wsp. (2022) również wskazali na pozytywny związek między zachowaniami zdrowotnymi a motywacją autonomiczną. Potwierdzają to także Diehl i wsp. (2018) analizujący motywy podejmowania aktywności fizycznej ze względu na odczuwalną przyjemność. W badaniach własnych nie wykazano istotnych różnic między płciami, co jest sprzeczne z wynikami Lauderdale’a i wsp. (2015), którzy zwracają uwagę na większe zaangażowanie mężczyzn w aktywność fizyczną ze względu na czynniki wewnętrzne, takie jak korzyści płynące z ćwiczeń i przyjemność. Do podobnych wniosków doszli Sheng i wsp. (2025), którzy stwierdzili, że mężczyźni prezentowali wyższy poziom motywacji wewnętrznej związanej ze zdrowiem.

Wyniki badań własnych okazały się spójne z teorią autodeterminacji stworzoną przez Deci'ego i Ryana (Ryan i Deci, 2000). Zakłada ona, że motywacja wewnętrzna i dobrostan psychiczny zależą od zaspokojenia trzech podstawowych potrzeb: autonomii, kompetencji i relacyjności. Motywacja wewnętrzna wspiera rozwój osobisty oraz dążenie do celów zgodnych z własnymi wartościami (Ntoumanis i wsp., 2021).

OGRANICZENIA

Przekrojowy charakter badań uniemożliwił wnioskowanie przyczynowo-skutkowe między analizowanymi zmiennymi. Kolejnym ograniczeniem była liczba respondentów ($n = 159$), która uniemożliwiła uogólnienie wyników na całą populację. Dodatkowo odpowiedzi mające charakter deklaracji mogły wiązać się z większą subiektywnością oraz tendencyjnością wynikającą z dostosowywania się do oczekiwań społecznych. Ponadto w analizach nie uwzględniono takich czynników, jak zróżnicowanie regionalne i status socjoekonomiczny, które mogłyby poszerzyć perspektywę omawianego zagadnienia.

WNIOSKI

Osoby przypisujące większą wartość zdrowiu częściej przejawiały motywację wewnętrzną do zachowań zdrowotnych. Kobiety oceniały wyżej zdrowie, co może wskazywać na ich większą wrażliwość na kwestie związane z dobrostanem fizycznym i psychicznym. Większość zależności miała niewielką siłę, a zatem konieczne jest zachowanie dużej ostrożności w interpretacji danych. Wyniki są spójne z założeniami teorii autodeterminacji podkreślającej istotność wewnętrznych wartości w kontekście zachowań zdrowotnych. Może to oznaczać potrzebę koncentrowania się na motywacji autonomicznej podczas podejmowania działań profilaktycznych i prozdrowotnych. Kolejne badania warto poszerzyć o dodatkowe czynniki psychologiczne i środowiskowe, które mogą wpływać na poziom motywacji i wartości osobiste jednostki.

BIBLIOGRAFIA

- Brojanowska, A., Piepiora, P.A. (2025). Aktywność fizyczna dzieci z pokolenia Alfa według opinii ich rodziców. [W:] M. Słowińska-Lisowska, K. Michalik (red.), *Problemy badawcze „wokół człowieka” w świetle doniesień młodych naukowców* (ss. 219–237). Wrocław: AWF.

- Collazo-Castiñeira, P., Rodríguez-Rey, R., Delfino, G.I., Cruz-Jentoft, A.J., Tópinková, E., Weijs, P.J.M., Schoufour, J.D., Sánchez-Izquierdo, M. (2025). Exploring motivation, goals, facilitators, and barriers to adopt health behaviors at retirement age: a focus group study. *BMC Public Health*, 25, 348, <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21377-4>.
- Diehl, K., Fuchs, A.K., Rathmann, K., Hilger-Kolb, J. (2018). Students' motivation for sport activity and participation in university sports: a mixed-methods study. *BioMed Research International*, 2018, 9524861, <https://doi.org/10.1155/2018/9524861>.
- Gochman, D.S. (1982). Labels, systems and motives: some perspectives for future research. *Health Education Quarterly*, 9(2–3).
- Gochman, D.S. (1988). Health behavior. Plural perspectives. [W:] D.S. Gochman (red.), *Health Behavior. Emerging Research Perspectives* (ss. 3–17), https://doi.org/10.1007/978-1-4899-0833-9_1
- Hardcastle, S.J., Hancox, J., Hattar, A., Maxwell-Smith, C., Thøgersen-Ntoumani, C., Hagger, M.S. (2015). Motivating the unmotivated: how can health behavior be changed in those unwilling to change? *Frontiers in Psychology*, 6, 835, <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00835>.
- Juczyński, Z. (2001). Lista Wartości Osobistych. [W:] Z. Juczyński, *Narzędzia pomiaru w promocji i psychologii zdrowia* (ss. 128–133). Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych PTP.
- Lauderdale, M.E., Yli-Piipari, S., Irwin, C.C., Layne, T.E. (2015). Gender differences regarding motivation for physical activity among college students: a self-determination approach. *Physical Educator*, 72, 153–172, <https://doi.org/10.18666/TPE-2015-V72-I5-4682>.
- Liang, Y., Rasle, O., Yang, J., Souchon, N. (2025). Values, motivation, and physical activity among Chinese sport sciences students. *PLOS ONE*, 20(2), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316731>.
- Marentes-Castillo, M., Castillo, I., Tomás, I., Alvarez, O. (2022). Physical activity, healthy behavior and its motivational correlates: exploring the spillover effect through stages of change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(10), 6161, <https://doi.org/10.3390/ijerph19106161>.
- Matthews, J.A., Matthews, S., Faries, M.D., Wolever, R.Q. (2024). Supporting sustainable health behavior change: the whole is greater than the sum of its parts. *Mayo Clinic Proceedings: Innovations, Quality and Outcomes*, 8(3), 263–275, <https://doi.org/10.1016/j.mayocpiqo.2023.10.002>.
- Ntoumanis, N., Ng, J.Y.Y., Prestwich, A., Quested, E., Hancox, J.E., Thøgersen-Ntoumani, C., Deci, E.L., Ryan, R.M., Lonsdale, C., Williams, G.C. (2021). A meta-analysis of self-determination theory-informed intervention studies in the health domain: effects on motivation, health behavior, physical, and psychological health. *Health Psychology Review*, 15(2), 214–244, <https://doi.org/10.1080/17437199.2020.1718529>.
- Poraj-Weder, M., Pasternak, A., Szulawski, M. (2021). The development and validation of the Health Behavior Motivation Scale. *Frontiers in Psychology*, 12, 706495, <https://doi.org/doi/10.3389/fpsyg.2021.706495>.

- Portela-Pino, I., López-Castedo, A., Martínez-Patiño, M.J., Valverde-Esteve, T., Domínguez-Alonso, J. (2020). Gender differences in motivation and barriers for the practice of physical exercise in adolescence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(1), 168, <https://doi.org/10.3390/ijerph17010168>.
- Rožman, M., Vrečko, I., Tominc, P. (2025). Psychological factors impacting academic performance among business studies' students. *Education Sciences*, 15(2), 121, <https://doi.org/10.3390/educsci15020121>.
- Ryan, R.M., Deci, E.L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68–78, <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>.
- Sheng, J., Ariffin, I.A.B., Tham, J. (2025). The influence of exercise self-efficacy and gender on the relationship between exercise motivation and physical activity in college students. *Scientific Reports*, 15, 11888, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95704-5>.
- Short, S.E., Mollborn, S. (2015). Social determinants and health behaviors: conceptual frames and empirical advances. *Current Opinion in Psychology*, 5, 78–84, <https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2015.05.002>.

ABSTRACT

Motivation for health behaviours and personal values among adults

Introduction. The study was designed to obtain insight into the relationship between personal values and motivation for health behaviours in adults. **Material.** A total of 159 individuals aged 18–69 years were examined, including 90 women and 69 men. **Methods.** The Health Behaviour Motivation Scale (HBMS) and the List of Personal Values (LWO) were used. **Results.** A partial relationship between personal values and motivation for health behaviours was identified in the entire study group. Statistically significant correlations were identified with respect to the personal value of good health, and physical and mental fitness. Intrinsic motivation, integration, identification, and introjection were found to be positively correlated with the perception of health as an important value in the respondents' lives. A statistically significant difference between women and men was identified with regard to the personal value of 'good health, physical and mental fitness'. **Conclusions.** The findings are consistent with the assumptions of self-determination theory, which highlights the significance of internal values in the context of health behaviours.

Keywords: physical activity, Health Behaviour Motivation Scale (HBMS), List of Personal Values (LWO), sport, lifestyle

OLIWIA BUJCZYK¹, AGNIESZKA KRAKOS¹,
MAGDALENA BEATA ŁABOWSKA²

¹ Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów,
Katedra Mikrosystemów, Politechnika Wrocławska

² Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki, Inżynierii
Materiałowej i Biomedycznej, Politechnika Wrocławska

BIO-DRUKOWANE 3D MODELE NARZĄDÓW W ONKOLOGII SPERSONALIZOWANEJ

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena przydatności wybranych technologii przyrostowych w procesie wytwarzania spersonalizowanych modeli onkologicznych na podstawie danych pochodzących z tomografii komputerowej (TK).

Materiał. Materiał badawczy stanowiły zestawy danych obrazowych w formacie DICOM, które poddano procesom segmentacji, rekonstrukcji trójwymiarowej oraz konwersji do formatu STL z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania medycznego. **Metody.** Modele fizyczne wykonano przy użyciu czterech technologii: Fused Deposition Modeling (FDM), Multi Jet Printing (MJP), Digital Light Processing (DLP) oraz biodruku ekstruzyjnego. Przeprowadzono analizę porównawczą pod kątem dokładności geometrycznej, jakości powierzchni, odwzorowania struktur naczyniowych oraz kosztów i czasu produkcji. **Wyniki.** Najwyższą precyzję odwzorowania zmian patologicznych i detali naczyniowych wykazała technologia DLP. Technologia MJP zapewniła porównywalną jakość, przy najwyższym koszcie jednostkowym. Technologia FDM, mimo niższej dokładności, charakteryzowała się najlepszym stosunkiem kosztów do użyteczności oraz najwyższą dostępnością operacyjną. **Wnioski.** Integracja danych TK z technologiami przyrostowymi stanowi wartościowe narzędzie w onkologii spersonalizowanej. Modele 3D skutecznie wspierają analizę relacji przestrzennych między guzem a strukturami narządów, co ma kluczowe znaczenie w edukacji oraz planowaniu przedoperacyjnym.

Słowa kluczowe: druk 3D, medycyna spersonalizowana, modele onkologiczne, technologie addytywne, rekonstrukcja 3D

WPROWADZENIE

Dynamiczny rozwój technologii addytywnych istotnie wpływa na transformację współczesnej medycyny w kierunku modelu medycyny spersonalizowanej. Integracja cyfrowego obrazowania medycznego z systemami projektowania wspomaganego komputerowo CAD (ang. *Computer Aided Design*) oraz technikami przyrostowymi umożliwia wytwarzanie trójwymiarowych modeli anatomicznych odzwierciedlających indywidualne

cechy pacjenta. W chirurgii onkologicznej precyzyjna identyfikacja granic zmiany nowotworowej oraz jej relacji przestrzennych względem struktur krytycznych ma kluczowe znaczenie dla skuteczności leczenia i minimalizacji ryzyka powikłań (Witowski i wsp., 2017).

Klasyczne techniki obrazowania, takie jak tomografia komputerowa (TK) czy rezonans magnetyczny (MRI), dostarczają wysokiej jakości danych diagnostycznych, jednak ich analiza opiera się głównie na interpretacji obrazów dwuwymiarowych. Wymaga to od operatora zdolności do mentalnej rekonstrukcji przestrzennej, co w przypadku złożonych struktur anatomicznych może prowadzić do błędów interpretacyjnych (Chen i wsp., 2025). Fizyczne modele 3D generowane na podstawie danych w formacie DICOM (ang. *digital imaging and communications in medicine*) stanowią narzędzie umożliwiające bezpośrednią wizualizację przestrzenną i usprawniające dzięki temu planowanie przedoperacyjne oraz komunikację lekarz–pacjent.

Technologie przyrostowe, rozwijane od lat 80. XX w., obejmują m.in. *fused deposition modeling* (FDM), *stereolithography* (SLA), *selective laser sintering* (SLS) oraz *digital light processing* (DLP). W ostatnich latach obserwuje się istotny wzrost ich zastosowania w sektorze biomedycznym, zwłaszcza w zakresie tworzenia modeli edukacyjnych i przedoperacyjnych (Wohlers Report, 2022). Równolegle w inżynierii tkankowej i medycynie regeneracyjnej rozwija się biodruk 3D wykorzystujący biokompatybilne hydrożele oraz struktury rusztowaniowe (tzw. *scaffolds*) (Murphy i Atala, 2014). W kontekście klinicznym szczególne znaczenie mają jednak modele niekomórkowe, których zadaniem jest wierne odwzorowanie geometrii narządu oraz zmiany patologicznej.

Jak wskazują Mironov i wsp. (2003), zastosowanie trójwymiarowych modeli w planowaniu zabiegów chirurgicznych może prowadzić do skrócenia czasu operacji oraz zwiększenia precyzji resekcji. Nadal jednak brakuje kompleksowych analiz porównawczych oceniających przydatność różnych technologii przyrostowych w kontekście wytwarzania spersonalizowanych modeli onkologicznych na podstawie danych tomografii komputerowej. W praktyce klinicznej istotny jest kompromis pomiędzy dokładnością odwzorowania geometrycznego, czasem realizacji oraz kosztem wytworzenia modelu.

CEL BADAŃ

Celem badań była wielokryterialna analiza porównawcza wybranych technologii przyrostowych (FDM, DLP, MJP oraz biodruku ekstruzyjnego) w procesie wytwarzania spersonalizowanych modeli onkologicznych na podstawie danych tomografii komputerowej (TK). Badania miały na celu ocenę przydatności poszczególnych metod pod kątem dokładności geometrycznej, jakości odwzorowania struktur anatomicznych, a także czasu i kosztów wytworzenia modeli nerek, wątroby oraz mózgu. Dodatkowym celem było zbadanie właściwości mechanicznych struktur hydrożelowych wytworzonych metodą ekstruzyjną jako potencjalnych modeli tkanek miękkich.

MATERIAŁY I METODY

Materiał technologiczny

W procesie wytwarzania modeli anatomicznych zastosowano materiały eksploatacyjne dedykowane poszczególnym technologiom addytywnym, zgodnie z wymaganiami sprzętowymi urządzeń drukujących oraz charakterem projektowanych modeli. Dobór materiałów technologicznych był determinowany kompatybilnością z systemami drukującymi, stabilnością procesu wytwarzania oraz możliwością uzyskania modeli o parametrach odpowiadających założeniom projektu.

Na podstawie analizy aktualnego stanu wiedzy (przeglądu literatury przedmiotu) oraz danych epidemiologicznych pozyskanych z Raportu Krajowego Rejestru Nowotworów wytypowano nowotwory występujące w populacji Polski, dla których byłoby możliwe wykonanie trójwymiarowych modeli onkologicznych. Wybrano takie jednostki chorobowe, jak nowotwór złośliwy mózgu, nowotwór ucha, nowotwór złośliwy serca, czerniak złośliwy skóry, nowotwór złośliwy wątroby i nowotwór złośliwy nerek. Przyjęto założenie, że opracowanie ich modeli anatomicznych będzie odpowiednie dla fazy początkowej badań. Ponadto uznano, że wyniki tych badań mogą znacząco podnieść wartość kliniczną i dydaktyczną opracowanych modeli. W tabeli 1 przedstawiono wykonane modele, zastosowane technologie addytywne, wykorzystane urządzenia oraz materiały technologiczne.

Tabela 1. Technologie addytywne, materiały i urządzenia drukujące zastosowane do wykonania modeli anatomicznych

Model anatomiczny	Technologia	Materiał	Urządzenie
Nowotwór złośliwy mózgu	FDM	ABS, PLA	Creality Ender 3
Nowotwór ucha	DLP	KeySplint Soft	Asiga MAX
	technologia ekstruzyjna	alginian sodu	BIO X
Nowotwór złośliwy serca	FDM	ABS, PLA	Creality Ender 3
Czerniak złośliwy skóry	technologia ekstruzyjna	alginian sodu, Support INX	BIO X
Nowotwór złośliwy wątroby	FDM	ABS, PLA	Creality Ender 3
	FDM/ odlewnictwo	PLA/silikon	Creality Ender 3
	FDM	TPU	FLSUN V400
Nowotwór złośliwy nerek	FDM	PLA	Creality Ender 3
	FDM	PCL	Ultimaker S3
	FDM	PLA	Zortrax M200
	MJP	Visijet M3 Crystal	ProJet 3500 HD Max
	DLP	KeySplint Soft	Asiga MAX

ABS – *acrylonitrile butadiene styrene*DLP – *digital light processing*FDM – *fused deposition modeling*MJP – *multi-jet printing*PCL – *polycaprolactone*PLA – *polylactic acid*TPU – *thermoplastic polyurethane*

W technologii FDM wykorzystano filamenty na bazie kwasu polimlekowego PLA (ang. *polylactic acid*, PLA Premium, Devil Design, Polska), termoplastycznego poliuretanu TPU (ang. *thermoplastic polyurethane*, FiberFlex 30D, Fiberlogy, Polska), terpolimeru akrylonitrylo-butadieno-styrenowego ABS (ang. *acrylonitrile butadiene styrene*, ABS Smart, Spectrum Filaments, Polska) oraz polikaprolaktonu PCL (ang. *polycaprolactone*, eSUN PCL, Shenzhen eSUN Industrial Co., Chiny) o średnicy 1,75 mm. Wybór takich materiałów został podyktowany ich powszechną dostęp-

nością, kompatybilnością z drukarkami klasy laboratoryjnej oraz stabilnością przetwórczą w standardowych warunkach temperaturowych. Wybrane materiały należą do grupy polimerów termoplastycznych szeroko stosowanych w prototypowaniu medycznym i edukacyjnym, co uzasadnia ich użycie w modelach o charakterze demonstracyjnym i symulacyjnym.

W technologii fotopolimerowej DLP zastosowano ciekłą żywicę fotopolimerową utwardzaną promieniowaniem UV (KeySplint Soft® Clear, Keystone Industries, USA). Modele wytwarzano za pomocą drukarki Asiga MAX UV (Asiga, Australia) wykorzystującej źródło światła o długości fali 385 nm. Parametry druku obejmowały grubość warstwy (50 μm) oraz ekspozycję zgodną z profilem materiałowym producenta. Po zakończeniu procesu modele poddano standardowemu procesowi obróbki końcowej (ang. *post-processingowi*) w komorze UV.

W ramach technologii ekstruzyjnej przeprowadzono próby wytwarzania struktur z biomateriałowych hydrożeli przeznaczonych do symulacji właściwości mechanicznych tkanek miękkich. Odpowiednią mieszaninę otrzymano poprzez rozpuszczenie 4% alginianu sodu (Sigma-Aldrich, Niemcy) oraz 2% metylocelulozy (Sigma-Aldrich, USA) w wodzie destylowanej, a następnie homogenizację mieszaniny przez 30 min w temperaturze 70°C, aż do uzyskania jednorodnego układu polimerowego. Dodanie metylocelulozy miało na celu zwiększenie lepkości układu, poprawę właściwości reologicznych oraz stabilizację strugi materiałowej podczas procesu biodruku ekstruzyjnego. Dobór składu hydrożelu był podyktowany możliwością kontrolowanej regulacji parametrów reologicznych oraz właściwości sprężystych wydrukowanych struktur.

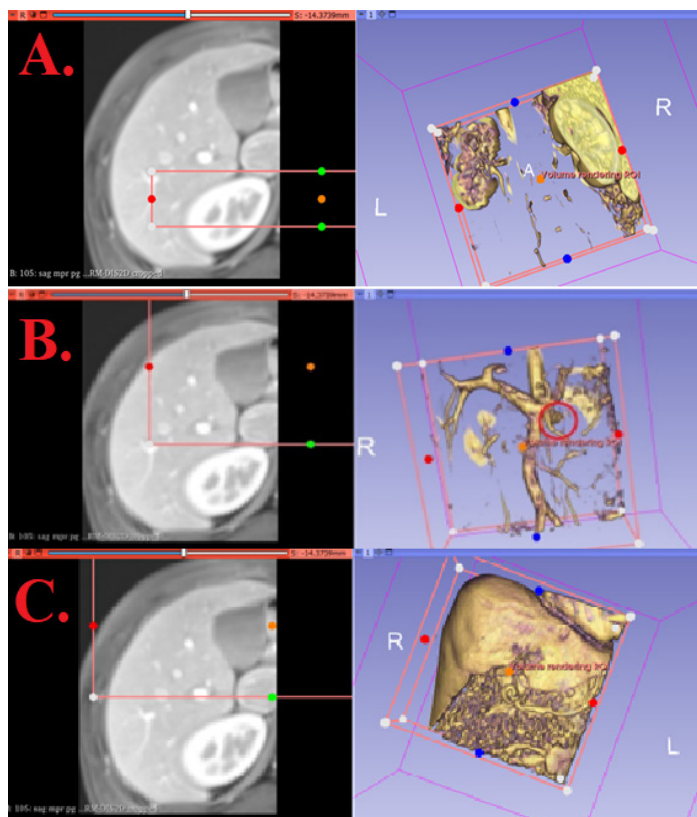
W technologii Multi-Jet Printing (MJP) zastosowano fotopolimer modelowy VisiJet M3 Crystal oraz materiał podporowy VisiJet S300, zgodnie ze specyfikacją systemu drukującego. Dobór materiału determinowany był zamkniętym charakterem systemu technologicznego oraz wymogiem stosowania materiałów certyfikowanych przez producenta urządzenia.

Dobór materiałów technologicznych zastosowanych w niniejszych badaniach był ściśle powiązany z charakterystyką danej technologii addytywnej oraz jej przeznaczeniem w procesie wytwarzania modeli anatomicznych. W każdym przypadku użyto materiałów standardowo rekomendowanych dla danego systemu drukującego, co zapewniało powtarzalność procesu technologicznego oraz kontrolę parametrów wytwarzania.

Materiał badawczy

Jako materiał badawczy posłużyły zestawy danych uzyskanych w badaniach tomograficznych (TK) pacjentów z rozpoznanymi zmianami nowotworowymi narządów jamy brzusznej oraz mózgu. Dane obrazowe pozyskano w formacie DICOM, który stanowi standard w zakresie cyfrowej archiwizacji i transmisji danych medycznych. Wybór tomografii komputerowej jako podstawy rekonstrukcji przestrzennej wynikał z jej wysokiej rozdzielczości przestrzennej oraz możliwości precyzyjnej wizualizacji struktur naczyniowych i granic zmian patologicznych.

Proces przetwarzania wyników obejmował wieloetapową segmentację struktur anatomicznych oraz zmiany nowotworowej z wykorzystaniem



Rycina 1. Etapy przetwarzania danych obrazowych z tomografii komputerowej: (A) wyznaczenie obszaru zainteresowania w przekrojach osiowych oraz wstępna segmentacja mięszu nerki, (B) segmentacja naczyń wątrobowych i struktur naczyniowych z wykorzystaniem progowania gęstości oraz rekonstrukcji trójwymiarowej, (C) rekonstrukcja przestrzenna modelu wątroby przygotowana do eksportu do formatu STL

dedykowanego oprogramowania medycznego. Segmentację prowadzono w trybie półautomatycznym z zastosowaniem progowania gęstości (ang. *hounsfield units*) oraz ręcznej korekty granic zmiany w celu minimalizacji błędów rekonstrukcyjnych. Następnie wykonano trójwymiarową rekonstrukcję objętościową narządu wraz z guzem (ryc. 1).

Utworzone modele 3D poddano optymalizacji dotyczącej siatki trójkątów (redukcja artefaktów, wygładzanie powierzchni, zamknięcie bryły), po czym wyeksportowano do formatu STL, powszechnie stosowanego w technologiach addytywnych. Kolejnym etapem było zaimportowanie modeli do środowiska CAD, gdzie przeprowadzono analizę poprawności geometrii oraz przygotowano pliki do procesu *slicingu*, czyli cyfrowego podziału modelu na warstwy w celu wygenerowania kodu sterującego dla urządzeń w technologii przyrostowej.

Spośród wszystkich modeli wykonanych w ramach prac projektowo-wytwórczych do szczegółowej analizy porównawczej wybrano modele wątroby, nerki oraz mózgu. Dobór tych struktur wynikał z ich zróżnicowanego stopnia złożoności geometrycznej, obecności struktur nacyniowych oraz możliwości wykonania ich w więcej niż jednej technologii addytywnej. Umożliwiło to przeprowadzenie porównawczej analizy odwzorowania geometrycznego, parametrów technologicznych procesu wytwarzania oraz właściwości użytkowych modeli. Pozostałe modele miały charakter uzupełniający i służyły przede wszystkim ocenie możliwości technologicznych wykorzystanych materiałów oraz urządzeń drukujących.

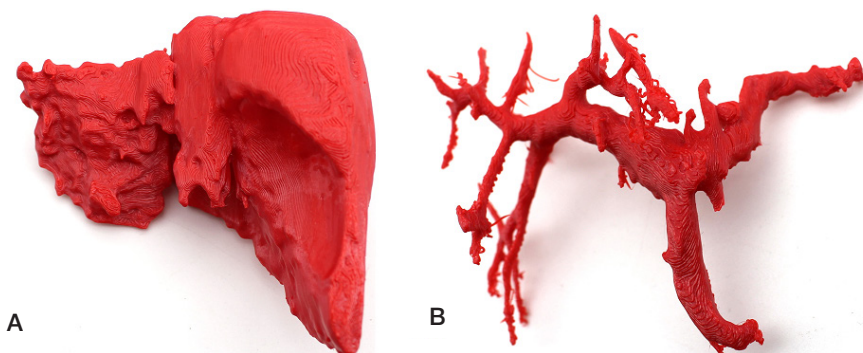
Zastosowana procedura przetwarzania danych odpowiada standardowym schematom wykorzystywanym w generowaniu zindywidualizowanych modeli anatomicznych do planowania przedoperacyjnego.

Metoda

Technologia FDM

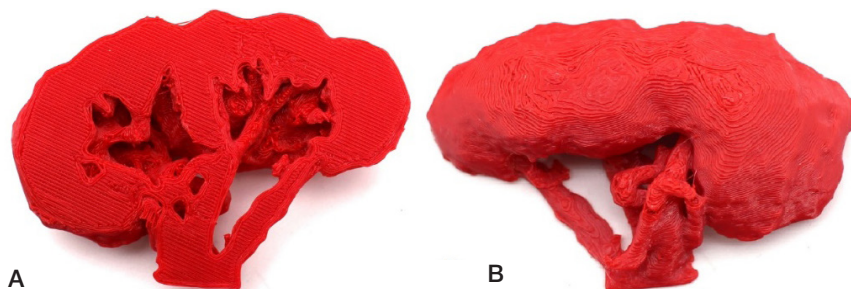
Proces wytwarzania modeli rozpoczęto od zastosowania technologii FDM polegającej na warstwowym nakładaniu uplastycznionego materiału termoplastycznego poprzez dyszę ekstrudera (Đurović i wsp., 2021). Wykorzystano filamenty polimerowe: PLA (w wariantach kolorystycznych: biały, czerwony, zielony, różowy), ABS (kolor złoty) oraz TPU (kolor szary). Dobór materiałów był uzależniony od charakteru modelu oraz przeznaczenia demonstracyjnego poszczególnych struktur.

Modele wątroby oraz model żyły wątrobowej (ryc. 2) wykonano z filamentu PLA na komercyjnej drukarce Creality Ender 3. Proces realizowano z zachowaniem następujących parametrów technologicznych: prędkość druku 35 mm/s, wypełnienie struktury 30%, wysokość warstwy 0,14 mm, temperatura przetwarzania filamentu (ekstruzji) 235°C. W celu zapewnienia stabilności geometrycznej modelu podczas procesu addytywnego wygenerowano podpory liniowe, które po zakończeniu druku zostały usunięte mechanicznie.



Rysunek 2. Trójwymiarowy model wątroby z wyodrębnioną zmianą nowotworową wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu PLA:
(A) miąższ wątroby, (B) struktura naczyniowa z widocznym guzem

Analogiczne parametry technologiczne zastosowano do wytworzenia modelu nerki z wyodrębnioną zmianą nowotworową, co umożliwiło zachowanie porównywalności warunków eksperymentu w analizie dokładności i efektywności procesu (ryc. 3).



Rycina 3. Trójwymiarowy model nerki z wyodrębnioną zmianą nowotworową wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu PLA:
(A) widok przekrojowy z uwidocznioną strukturą nowotworową,
(B) widok zewnętrzny modelu

Model mózgu charakteryzował się bardziej złożoną geometrią przestrzenną. Wykonano go w trzech wersjach z zastosowaniem dwóch różnych materiałów termoplastycznych: ABS (ryc. 4) i PLA (ryc. 5), co umożliwiło przeprowadzenie analizy porównawczej procesów z wykorzystaniem materiałów o odmiennych parametrach przetwórczych. Istotną różnicę technologiczną stanowiła tu temperatura przetwarzania filamentu ABS, która wynosiła 220°C. Parametry druku dla obu materiałów ustalono w sposób kontrolowany, z zachowaniem porównywalnych warunków technologicznych: prędkość druku 20 mm/s, wypełnienie struktury 30%, wysokość warstwy 0,28 mm. W druku trzeciego wariantu modelu mózgu (ryc. 6) zmodyfikowano parametr wypełnienia, zwiększając go aż do 80%. Zmiana ta miała na celu uzyskanie struktury o zwiększonej gęstości wewnętrznej, co wpływa na lepszą sztywność konstrukcyjną modelu oraz poprawia jego odporność na obciążenia mechaniczne.

Średni czas wytwarzania modeli mózgu wynosił około 20 godzin i był determinowany złożonością geometrii, parametrami warstwowania oraz stopniem wypełnienia struktury.



Rycina 4. Trójwymiarowy model mózgu z wyodrębnioną zmianą nowotworową wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu ABS

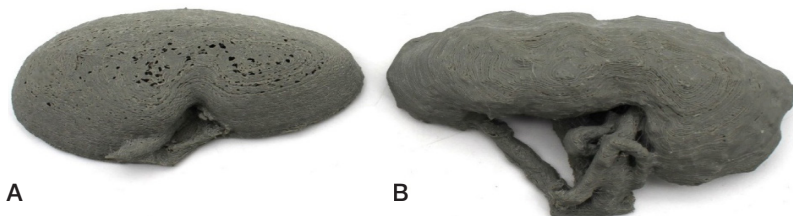


Rycina 5. Trójwymiarowy model mózgu z wyodrębnioną zmianą nowotworową wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu PLA. Prezentacja struktury w konfiguracji złożonej (A) i rozłożonej z widocznym guzem (B)

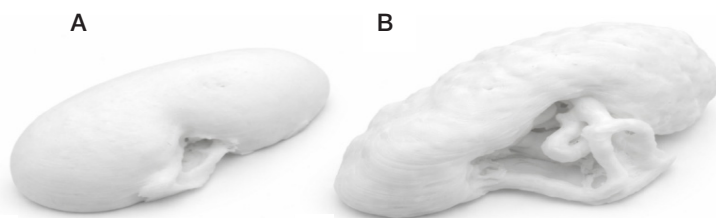


Rycina 6. Model anatomiczny mózgu z guzem wytworzony metodą FDM (PLA) przy zwiększonym stopniu wypełnienia struktury (80%); widok elementów po separacji

Kolejnym etapem badań było wytworzenie modeli anatomicznych elastycznego filamentu TPU. Proces ten realizowano przy zachowaniu następujących parametrów: temperatura przetwórstwa około 219°C (zgodnie z wytycznymi producenta materiału zawartymi w dokumentacji technicznej), prędkość druku 20 mm/s, wypełnienie struktury 30%, wysokość warstwy 0,14 mm. Modyfikacja w zakresie temperatury i prędkości była niezbędna ze względu na odmienną charakterystykę reologiczną tworzywa oraz jego zwiększoną podatność na deformacje w stanie uplastycznionym. Dzięki zastosowaniu TPU w modelu nerki (ryc. 7) uzyskano strukturę o zwiększonej elastyczności, pozwalającej na kontrolowane odkształcenia mechaniczne, w tym zgniatanie i rozciąganie. Wykorzystanie materiału o właściwościach sprężystych miało na celu przybliżenie podatności mechanicznej tkanek miękkich, co może mieć znaczenie w kontekście symulacyjnego przygotowania do procedur chirurgicznych.



Rycina 7. Trójwymiarowy model nerki wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu TPU: (A) nerka zdrowa, (B) nerka z wyodrębnioną zmianą nowotworową



Rycina 8. Trójwymiarowy model nerki wykonany w technologii FDM z wykorzystaniem filamentu PCL: (A) nerka zdrowa, (B) nerka z wyodrębnioną zmianą nowotworową

Ostatnim etapem testowania technologii FDM było wykonanie modelu nerek z filamentu PCL (ryc. 8). Ze względu na specyfikę przetwórczą materiału oraz konieczność zapewnienia stabilności procesu do wytworzenia struktur anatomicznych zastosowano drukarkę Ultimaker S3. Proces realizowano z zachowaniem następujących parametrów: temperatura ekstruzji 120°C, wypełnienie struktury 50%, wysokość warstwy 0,25 mm. Szacowany czas wytworzenia dwóch modeli wynosił 6 godz. i 4 min.

W badaniach podjęto się także wytworzenia modelu wątroby techniką łączącą wytwarzanie addytywne z procesem odlewnictwa silikonowego zaproponowaną przez Witowskiego (2020). Element polimerowy formy wykonano w technologii FDM (temperatura ekstruzji 220°C, wypełnienie struktury 30%, wysokość warstwy 0,28 mm), co zapewniło odpowiednią stabilność geometryczną przy jednoczesnej redukcji zużycia materiału. Uzyskaną formę wykorzystano następnie do wytworzenia modelu poprzez zalanie jej silikonem, zgodnie z założeniami metody hybrydowej. Wykonano model wątroby o pustej strukturze wewnętrznej, pełniący funkcję formy odlewniczej, która została wypełniona transparentnym silikonem



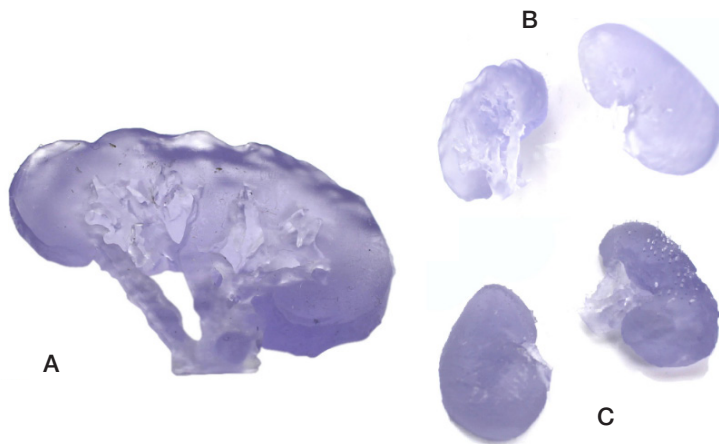
Rycina 9. Spersonalizowany model wątroby wykonany metodą hybrydową (wytwarzanie przyrostowe + odlewnictwo silikonowe) z zatopioną strukturą żyły wątrobowej

i pozostawiona do utwardzenia na mniej więcej 5 godzin. Równolegle w technologii FDM wydrukowano strukturę żyły wątrobowej, którą po zakończeniu procesu polimeryzacji zatopiono w silikonowym modelu, uzyskując pełnowymiarową, spersonalizowaną rekonstrukcję narządu (ryc. 9).

Technologia DLP

Modele nowotworowe wytworzono również w technologii DLP, w której wykorzystano drukarkę Asiga MAX UV. Ze względu na ograniczony obszar roboczy urządzenia ($119 \times 67 \times 75$ mm) przed rozpoczęciem procesu technologicznego dokonano odpowiedniego przeskalowania modeli cyfrowych w środowisku CAD, przy zachowaniu proporcji geometrycznych struktur anatomicznych (1:6). W druku zastosowano następujące parametry: temperatura otoczenia 23°C , wypełnienie modelu 100%, grubość warstwy 0,05 mm.

Do dedykowanej kuwety roboczej wprowadzono ciekłą żywicę fotopolimerową KeySplint Soft, kompatybilną z długością fali źródła światła urządzenia (385 nm). Następnie plik w formacie STL zaimportowano do oprogramowania sterującego drukarką i przeprowadzono proces przygotowania modelu do wydrukowania obejmujący orientację obiektu w przestrzeni roboczej oraz automatyczne generowanie struktur podporowych. Parametry ekspozycji oraz grubość warstwy ustawiono zgodnie z zaleceniami producenta materiału i urządzenia.



Rycina 10. Trójwymiarowy model nerek wykonany w technologii DLP: (A) nerka zmieniona nowotworowo, (B) porównanie przekrojów nerki zdrowej i zmienionej patologicznie, (C) widok zewnętrzny obu modeli

Proces wytwarzania przebiegał warstwowo poprzez selektywne utwardzanie żywicy za pomocą projekcyjnego źródła światła UV. Model nerek z wyodrębnioną zmianą nowotworową (ryc. 10) został wykonany w czasie 53 min. Kolejne warstwy były formowane na unoszącej się platformie roboczej.

Technologia MJP

W procesie wytwarzania modeli anatomicznych zastosowano także technologię Multi Jet Printing (MJP) należącą do grupy metod fotopolimerowych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej. Technologia ta jest zbliżona do systemów typu PolyJet, w literaturze bywa opisywana jako rozwiązanie pokrewne pod względem zasady działania (Đurović, 2021). Do wykonania modeli nerek (ryc. 11) posłużono się fotopolimerem konstrukcyjnym VisiJet M3 Crystal oraz materiałem podporowym VisiJet S300. Wydruk przeprowadzono na przemysłowej drukarce ProJet 3500 HD Max (3D Systems). W początkowej fazie drukowania bezpośrednio na platformę roboczą naniesiono warstwę materiału podporowego, co zapewniało stabilność modelu oraz odpowiednią adhezję do podłoża. Następnie formowano kolejne warstwy konstrukcyjne z fotopolimeru, który po naniesieniu był selektywnie utwardzany przy użyciu promieniowania UV. Modele drukowano w temperaturze otoczenia 25°C, przy wypełnieniu 100% oraz rozdzielczości warstwy 0,015 mm. Po zakończeniu procesu addytywnego modele pozostawiono do wstępnego schłodzenia (ok. 10 min), a następnie w celu usunięcia materiału podporowego poddano je kilkugodzinnej obróbce termicznej w piecu laboratoryjnym w temperaturze



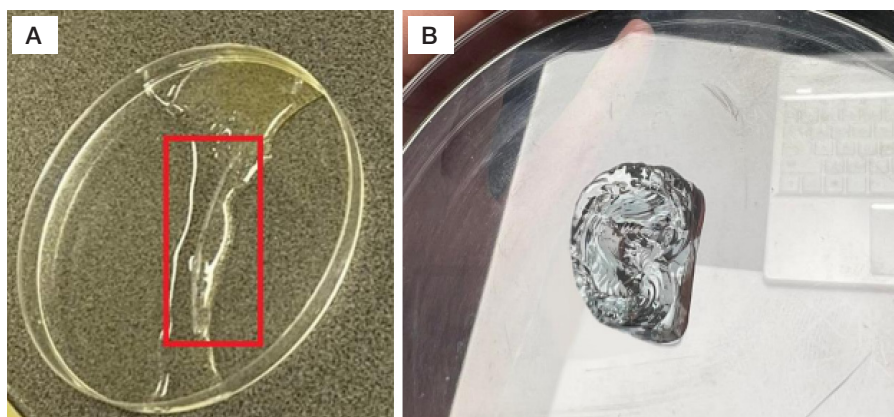
Rycina 11. Trójwymiarowy model nerek z wyodrębnioną zmianą nowotworową wykonany w technologii MJP (ProJet 3500 HD Max; VisiJet M3 Crystal/VisiJet S300): (A) model nerki zdrowej, (B) model nerki ze zmianą nowotworową

65°C, co umożliwiło stopienie woskowego materiału. W dalszej kolejności zanurzono modele w oleju roślinnym na 10 min, po czym umieszczono je w myjce ultradźwiękowej (65°C, 10 min) i poddano oczyszczaniu w alkoholu izopropylowym (IPA). Końcowe doczyszczanie przeprowadzono w ciepłej wodzie z dodatkiem detergentu. Po osiągnięciu temperatury pokojowej modele poddano działaniu bieżącej wody.

Technologia ekstruzyjna (ang. *extrusion-based printing*)

W celu rozszerzenia analizy o aspekt biomechaniczny podjęto się próby wytworzenia struktur hydrożelowych na bazie alginianu sodu oraz metylocelulozy, które pozwalają na uzyskanie modelowej imitacji właściwości mechanicznych skóry ludzkiej. Zadanie realizowano w kontrolowanych warunkach środowiskowych: temperatura laboratorium 23,1°C, wilgotność względna powietrza 20%. Parametry te były monitorowane ze względu na ich istotny wpływ na właściwości reologiczne roztworu oraz stabilność procesu ekstruzji.

Przygotowany roztwór polimerowy 4% alginianu sodu oraz 2% metylocelulozy wprowadzono do układu ekstruzyjnego biodrukarki (BIO X, Cellink, USA), a następnie wytworzono pięć prostopadłościennych próbek o wymiarach 80 × 5 × 0,7 mm, stanowiących struktury do badań mechanicznych (ryc. 12). Proces przebiegał z zachowaniem stałych parametrów technologicznych: prędkość ekstruzji 10 mm/s, ciśnienie robocze 5 kPa. Bezpośrednio po wydrukowaniu próbki poddano 10-minutowemu proce-



Rycina 12. (A) próbka hydrożelowa na bazie 4% alginianu sodu i 2% metylocelulozy w trakcie sieciowania jonowego jonami Ca^{2+} , (B) przestrzenny model ucha wytworzony metodą biodruku po stabilizacji struktury hydrożelowej

sowi sieciowania jonowego poprzez immersję w roztworze chlorku wapnia (CaCl_2 , Avantor Performance Materials Poland S.A., Polska) o stężeniu 0,1 M. Mechanizm sieciowania opierał się na wymianie jonowej między jonami sodu (Na^+) obecnymi w strukturze alginianu sodu a jonami wapnia (Ca^{2+}) i miał doprowadzić do powstania przestrzennej sieci hydrożelowej w wyniku tworzenia mostków jonowych między łańcuchami polimeru.

Po zakończeniu procesu sieciowania próbki poddano badaniu jednoosiowej próby rozciągania z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej MultiTest 1-i (Mecmesin). Urządzenie było wyposażone w czujnik tensometryczny o zakresie pomiarowym 0–100 N, dokładności 0,01 N oraz rozdzielczości przemieszczenia 0,0025 mm. Rejestrację danych siła-przemieszczenie prowadzono za pomocą oprogramowania Emperor™ Force.

WYNIKI

Analiza porównawcza zastosowanych technologii przyrostowych 3D

W ramach przeprowadzonych badań wytworzono spersonalizowane modele onkologiczne wybranych narządów ludzkich. W tym celu wykorzystano technologie addytywne: FDM, DLP, MJP, technologie ekstruzyjne oraz metodę hybrydową FDM/odlewnictwo. Łącznie przeanalizowano osiem konfiguracji technologiczno-materiałowych obejmujących różne polimery termoplastyczne, fotopolimery oraz materiały elastomerowe. Ocena jakości wydruków miała charakter porównawczy i obejmowała takie parametry, jak gładkość powierzchni, widoczność efektu warstwowania, integralność geometrii oraz zdolność odwzorowania struktur drobnych. Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli 2.

Wszystkie zastosowane technologie umożliwiły wytworzenie kompletnych, zamkniętych geometrycznie modeli 3D na podstawie danych obrazowania TK. Nie odnotowano utraty ciągłości brył ani istotnych deformacji geometrycznych wynikających z procesu wytwarzania.

Czas wytworzenia modeli różnił się istotnie w zależności od zastosowanej technologii. Najkrócej (ok. 50 min) trwało wydrukowanie modelu wykonanego z TPU w technologii FDM. Najdłuższy proces dotyczył technologii MJP (ok. 10 godz. 30 min). W przypadku standardowych modeli FDM (PLA, ABS) czas realizacji mieścił się w przedziale od kilku do kilku-

Tabela 2. Zastosowane technologie addytywne oraz parametry procesu

Materiał	FDM				DLP	MJP	Technologia ekstruzyjna	FDM/ odlewnictwo
								
Urządzenie drukujące	PLA	TPU	ABS	PCL	KeySplint Soft	Visijet M3 Crystal	alginian sodu + metyloceluloza + Support INX	PLA, Silikon
Skala wydruku	Zortrax M200	FLSUN V400	Creality Ender 3	Ultimaker S3	Asiga MAX UV	Projet 3500 HD Max	BIO X	Creality Ender 3
Temperatura procesu (°C)	1:1	1:2	1:2	1:1	1:6	1:1	1:4	1:2
Wypełnienie (%)	235	219	220	120	23	25	23,1	220
Grubość warstwy (mm)	30	30	30	50	100	100	50	30
Zastosowanie struktur podporowych	0,14	0,14	0,28	0,25	0,05	0,015	0,05	0,28
Szacowany czas drukowania	tak	tak	tak	tak	tak	tak	nie	tak
Szacowany koszt zużycia materiałowego	6 godz. 49 min	50 min	17 godz. 1 min	6 godz. 4 min	53 min	10 godz. 30 min	4 min	4 godz. 21 min
Obróbka końcowa	niski	niski	niski	wysoki	wysoki	ekstremalnie wysoki	średni	znikomy
Jakość wydruku	łatwy	łatwy	łatwy	łatwy	skomplikowany i czasochłonny	skomplikowany i czasochłonny	łatwy	łatwy
	wysoka	niska	wysoka	średnia	wysoka	średnia	niska	niska

FDM – fused deposition modeling, DLP – digital light processing, MJP – multi-jet printing
PLA – polylactic acid, TPU – thermoplastic polyurethane, ABS – acrylonitrile butadiene styrene, PCL – polycaprolactone

nastu godzin. Modele wykonane w technologii DLP wymagały stosunkowo krótkiego czasu ekspozycji (ok. 53 min) wynikającego z jednoczesnego naświetlania całej warstwy.

Na podstawie analizy kosztów materiałowych wykazano, że technologie FDM (PLA, ABS, TPU) charakteryzowały się najniższym kosztem zużycia materiału. W przypadku materiałów fotopolimerowych (DLP, MJP) koszt jednostkowy okazał się wyraźnie wyższy, a w technologii MJP został określony jako ekstremalnie wysoki w porównaniu z rozwiązaniami termoplastycznymi.

Stopień złożoności post-processingu był zróżnicowany. W technologiach FDM obróbka końcowa ograniczała się do mechanicznego usunięcia struktur podporowych. W technologiach fotopolimerowych konieczne było dodatkowe oczyszczanie chemiczne oraz naświetlanie wtórne, a w przypadku technologii MJP trzeba było wdrożyć wieloetapowy proces obejmujący ogrzewanie i czyszczenie chemiczne.

Jakość odwzorowania struktur anatomicznych

We wszystkich modelach uzyskano poprawne odwzorowanie głównych struktur anatomicznych oraz zmian patologicznych zidentyfikowanych w TK. Modele zachowały integralność geometryczną, a wyodrębnione struktury nowotworowe były jednoznacznie odseparowane od miększu narządowego.

Technologie fotopolimerowe (DLP oraz MJP) umożliwiły uzyskanie największej dokładności z zakresie detali. Wydruki charakteryzowały się też minimalną widocznością efektu warstwowania oraz wysoką jednorodnością i gładkością powierzchni zewnętrznej. Pozwoliło to na odwzorowanie drobnych struktur anatomicznych, w tym elementów o niewielkich średnicach geometrycznych.

Modele wykonane w technologii FDM odznaczały się widoczną strukturą warstwową typową dla tej metody, jednak nie wpływało to na ich ciągłość geometryczną ani stabilność strukturalną. Zwiększenie stopnia wypełnienia do 80% skutkowało wyraźnym wzrostem sztywności modeli, przy zachowaniu tej samej geometrii zewnętrznej.

Modele wykonane z materiałów elastycznych (TPU) ulegały odkształceniom sprężystym bez delaminacji warstw. Po zwolnieniu obciążenia struktury powracały do pierwotnego kształtu, zachowując integralność powierzchniową.

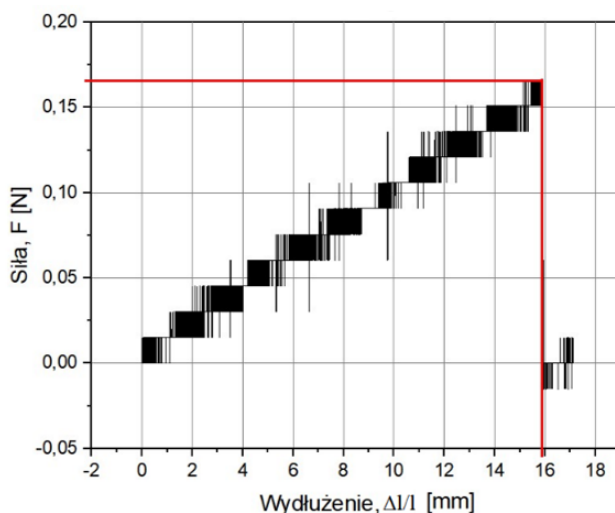
Zastosowanie metody hybrydowej FDM-odlewnictwo pozwoliło uzyskać transparentną strukturę zewnętrzną modeli umożliwiającą wizualizację wewnętrznych elementów anatomicznych. Zatopione w modelu struktury naczyniowe zachowały swoje położenie przestrzenne (nie przemieszczały się podczas procesu utwardzania silikonu).

Charakterystyka mechaniczna struktur hydrożelowych

W celu oceny właściwości mechanicznych struktur hydrożelowych wykonanych z 4% alginianu sodu oraz 2% metylocelulozy przeprowadzono jednoosiową próbę rozciągania (ryc. 13). Badania wykonano w pięciu powtórzeniach. Próbki hydrożelowe o wymiarach $80 \times 5 \times 0,7$ mm sieciowano jonowo w 0,1 M roztworze CaCl_2 .

Uzyskane krzywe naprężenie-odkształcenie wykazywały charakterystyczną dla materiałów hydrożelowych nieliniową odpowiedź mechaniczną. W początkowym zakresie odkształceń obserwowano obszar quasi-liniowy.

W wyniku przeprowadzonych badań mechanicznych wyznaczono moduł Younga hydrożelu alginianu sodu i metylocelulozy w zakresie odkształceń liniowo-sprężystych. Średnia wartość modułu elastyczności wyniosła 31,38 MPa. Krzywe naprężenie-odkształcenie wykazywały powtarzalny



Rycina 13. Reprezentatywna krzywa naprężenie-odkształcenie dla hydrożelu z 4% alginianu sodu i 2% metylocelulozy po sieciowaniu w roztworze CaCl_2 (0,1 M); próba jednoosiowego rozciągania, $n = 5$

Tabela 3. Wyniki pomiarowe dla struktur hydrożelowych dla wszystkich prób

Nr próby	Siła (N)	Długość przed rozciągnięciem (mm)	Długość po rozciągnięciu (mm)	Wydłużenie (mm)	Czas zerwania (min)
1	0,166	38,260	54,073	15,813	1,085
2	0,348	51,130	79,513	28,383	5,283
3	0,242	54,080	76,513	22,878	4,579
4	0,272	47,460	60,608	13,148	2,591
5	0,272	51,080	74,440	23,360	4,648
$\bar{x}$	0,260	48,402	69,118	20,716	3,637

przebieg dla wszystkich analizowanych próbek, bez obserwowanej przedwczesnej utraty integralności materiału. Szczegółowe wartości parametrów mechanicznych przedstawiono w tabeli 3. Dodatkowo wytworzono hydrożelową strukturę modelową w kształcie ucha, która po procesie drukowania zachowała stabilność geometryczną oraz jednorodność strukturalną.

DYSKUSJA

Dynamiczny w ostatnich latach rozwój technologii przyrostowych znacząco wpłynął na możliwości zastosowania ich w medycynie spersonalizowanej, zwłaszcza w onkologii. Wyniki badań własnych pozwoliły potwierdzić, że spersonalizowane modele anatomiczne wytwarzane na podstawie danych tomografii komputerowej stanowią realne narzędzie wspierające wizualizację zmian patologicznych oraz planowanie procedur medycznych.

Porównanie technologii FDM, DLP i MJP

Analiza technologii FDM dowiodła jej wysokiej dostępności, niskiego kosztu materiałowego oraz dużej elastyczności w doborze tworzyw termoplastycznych. Modele wykonane z PLA okazały się korzystnym kompromisem między jakością odwzorowania, stabilnością geometryczną oraz ekonomią procesu wytwórczego. Wyniki te korelują z badaniami Kaul i wsp. (2024) przeprowadzonymi na anatomicznych modelach kręgów.

Autorzy stwierdzili, że PLA charakteryzuje się niskim skurczem przetwórczym (niewielką zmianą wymiarów elementu wynikającą ze stygnięcia materiału podczas druku) na poziomie 0,3–0,5%, co pozwala na uzyskanie wysokiej dokładności wymiarowej przy błędzie procentowym nieprzekraczającym 0,5%.

W przeciwieństwie do PLA, ABS wykazywał podatność na deformacje wynikające ze skurczu termicznego, co potwierdza znane w literaturze przedmiotu ograniczenia tej grupy polimerów w warunkach niekontrolowanego chłodzenia. Jak wskazują Choi i wsp. (2016), błędy kształtu w technologii FDM przy użyciu ABS są ściśle skorelowane z gradientem temperatury między dyszą a stołem roboczym. Badacze wskazują, że utrzymanie temperatury podłoża poniżej temperatury przejścia szklistego ABS ($T_g \approx 104^\circ\text{C}$) prowadzi do znacznych odchyłeń wymiarowych, a optymalną stabilność geometryczną uzyskuje się dopiero przy temperaturze stołu wynoszącej 110°C . Wyniki badań własnych okazały się spójne z przedstawionymi doniesieniami, potwierdzając założenie, że bez rygorystycznej kontroli termicznej środowiska druku ABS przejawia tendencję do podwijania krawędzi i rozwarstwiania (delaminacji), co utrudnia wytworzenie precyzyjnych modeli anatomicznych.

Modele wykonane z TPU umożliwiły uzyskanie sprężystych struktur, jednak ich zwiększona porowatość oraz mniejsza precyzja w zakresie detali ograniczają ich zastosowania w przypadkach wymagających wysokiej rozdzielczości geometrycznej oraz zachowania ścisłych tolerancji wymiarowych. Jak wskazują Lou i wsp. (2025), elastomery termoplastyczne odznaczają się specyficzną charakterystyką reologiczną, która sprzyja powstawaniu mikroporowatości w razie ustawienia nieoptymalnych parametrów ekstruzji, co bezpośrednio rzutuje na spójność warstw. Zjawisko to, w połączeniu z tendencją materiałów elastycznych do tzw. nitkowania, obniża ostrość krawędzi modeli anatomicznych.

Z kolei PCL, mimo poprawnego odwzorowania geometrii, wykazywał cechy kruchego zachowania mechanicznego w porównaniu z klasycznymi materiałami termoplastycznymi. Popescu i wsp. (2023) oraz Juniasih i wsp. (2025), analizując właściwości mechaniczne kompozytów na bazie PCL, także zwrócili uwagę na kluczową rolę stopnia krystaliczności tego polimeru. Ze względu na niską temperaturę topnienia ($\approx 60^\circ\text{C}$) proces chłodzenia PCL w technologii FDM zachodzi relatywnie wolno, co sprzyja formowaniu się dużych struktur krystalicznych (sferolitów). Jak udokumentowano w literaturze (Juniasih i wsp. 2025; Popescu i wsp. 2023), wy-

soki stopień krystaliczności może prowadzić do wzrostu sztywności przy jednoczesnym obniżeniu ciągliwości materiału, co tłumaczy zaobserwowaną w badaniach własnych podatność modeli na pękanie pod wpływem obciążeń dynamicznych.

Technologie fotopolimerowe (DLP, MJP) zapewniły najwyższą jakość powierzchni modeli oraz dokładność odwzorowania detali anatomicznych. Shen i wsp. (2021) odnotowali, że technologie oparte na polimeryzacji żywic pozwalają uzyskać najwyższą, w porównaniu z metodami ekstruzyjnych (FDM), wierność geometryczną. Według autorów błąd odwzorowania w modelach fotopolimerowych jest minimalny, co ma krytyczne znaczenie przy modelowaniu struktur o złożonej topologii, takich jak naczynia krwionośne czy guzy nowotworowe. Szczególnie ważna okazała się też możliwość uzyskania modeli transparentnych, umożliwiających obserwację struktur wewnętrznych i zmian nowotworowych, co znacząco zwiększa potencjał dydaktyczny i kliniczny tego typu modeli. Shen i wsp. (2021) podkreślają, że transparentność modeli 3D w połączeniu z kodowaniem barwnym patologii stanowi cenne narzędzie w nawigacji chirurgicznej pozwalające na lepszą przestrzenną ocenę marginesów resekcji. Ograniczeniem technologii DLP był jednak niewielki obszar roboczy, uniemożliwiający wykonanie modeli w skali rzeczywistej, bez segmentacji geometrycznej.

Technologia MJP pozwoliła na wytworzenie większych struktur przy zachowaniu bardzo wysokiej jakości powierzchni, jednak jej zastosowanie wiązało się z istotnym wzrostem kosztów materiałowych oraz złożoności post-processingu. Jak wskazują Shaukat i wsp. (2022), proces usuwania materiału podporowego w technologii MJP (często wymagający kąpeli termicznych lub ultradźwiękowych) jest czynnikiem krytycznym, który wydłuża czas przygotowania modelu i może wpływać na ostateczną stabilność wymiarową cienkościennych struktur anatomicznych. Dodatkowo obserwowano degradację optyczną materiału w czasie (żółknięcie), co może stanowić ograniczenie w kontekście długoterminowego użytkowania modeli. Zjawisko to zostało opisane przez Pérez i wsp. (2025), którzy analizując starzenie się fotopolimerów medycznych, wykazali, że ekspozycja na promieniowanie UV oraz procesy utleniania resztkowego fotoinicjatora prowadzą do zmiany barwy i utraty pełnej transparentności. Autorzy sugerują, że żywice te tracą swoje właściwości optyczne, co z czasem pogarsza widoczność detali anatomicznych znajdujących się wewnątrz modelu.

Aspekt ekonomiczny i translacyjny

W kontekście wdrożeń klinicznych kluczową kwestią jest relacja koszt–efekt. Metoda hybrydowa, łącząca technologie FDM z odlewnictwem silikonowym, pozwala zredukować koszty i jednocześnie zachować wysoką jakość wizualną modelu. Transparentna matryca silikonowa umożliwiła wyeksponowanie struktur naczyńiowych i zmian patologicznych przy znacząco mniejszym zużyciu materiału fotopolimerowego. Zdaniem Chunga i wsp. (2018) wykorzystanie form drukowanych w technologii FDM do odlewów silikonowych pozwala na tworzenie wiernych modeli tętniaków i naczyń przy ułamku kosztów metod czysto fotopolimerowych. Jak zauważają Bisighini i wsp. (2023), techniki hybrydowe łączące druk przyrostowy z odlewnictwem elastomerów umożliwiają uzyskanie unikalnych właściwości haptycznych, które są trudne do osiągnięcia, kiedy do wytworzenia modelu używa się sztywnych żywic. Autorzy podkreślają, że dzięki transparentności silikonu i możliwości obniżenia nakładów finansowych metoda ta jest wysoce efektywna w masowej produkcji modeli treningowych dla chirurgów, co potwierdzono również w niniejszych badaniach.

Metoda hybrydowa może być realną alternatywą dla wysokokosztowych technologii przemysłowych, zwłaszcza w ośrodkach klinicznych dysponujących ograniczonym budżetem.

Charakterystyka mechaniczna hydrożeli

Ważnym etapem podjętych badań była analiza właściwości mechanicznych hydrożelu alginianu sodu i metylocelulozy. Wyznaczony na poziomie 31,38 MPa moduł Younga wskazuje na wysoką sztywność materiału w zakresie odkształceń liniowo-sprężystych. Podobne wartości uzyskali Kurowiak i wsp. (2022), którzy wykazali, że wprowadzenie metylocelulozy do matrycy alginianowej znacząco poprawia stabilność strukturalną i parametry wytrzymałościowe kompozytu. Uzyskana wartość, przy zachowaniu powtarzalności pomiarowej, potwierdza możliwość kontrolowanego kształtowania właściwości mechanicznych poprzez zastosowanie odpowiednich parametrów sieciowania oraz składu mieszaniny polimerowej.

Należy jednak zaznaczyć, że właściwości hydrożeli są silnie uzależnione od warunków środowiskowych (wilgotności, czasu inkubacji, stopnia uwodnienia). Jak wskazują Malektaj i wsp. (2023) oraz Li i wsp. (2024),

procesy pęcznienia oraz kinetyka uwalniania wody z sieci polimerowej mogą wywołać istotne zmiany w odpowiedzi mechanicznej materiału w czasie. Wpływ tych czynników na reprodukowalność wyników podkreślali również Kaklamani i wsp. (2014), wskazując, że precyzyjne określenie modułu Younga hydrożeli wymaga rygorystycznej kontroli stopnia ich uwodnienia. W związku z tym dalsze badania powinny obejmować analizę reologii dynamicznej oraz długoterminowej stabilności mechanicznej struktur hydrożelowych, co pozwoli na pełniejszą charakterystykę ich zachowania w warunkach fizjologicznych.

Znaczenie kliniczne modeli

Uzyskane modele zostały poddane pilotażowej ocenie eksperckiej lekarza specjalisty onkologii klinicznej. Wskazano wysoką wartość dydaktyczną modeli transparentnych oraz wykonanych z PLA i fotopolimerów, zwłaszcza w kontekście wizualizacji relacji guza do struktur otaczających.

Podkreślono również potencjał modeli w chirurgii onkologicznej, radioterapii oraz komunikacji lekarz–pacjent. Wyniki wskazują na translacyjny charakter opracowanej metodologii i potwierdzają jej zasadność w kontekście medycyny spersonalizowanej.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania potwierdzają, że technologie przyrostowe umożliwiają skuteczne wytwarzanie spersonalizowanych modeli onkologicznych na podstawie danych tomografii komputerowej, z zachowaniem wysokiej zgodności geometrycznej zmian patologicznych względem struktur anatomicznych. Optymalnym rozwiązaniem pod względem relacji koszt–jakość okazała się technologia FDM z wykorzystaniem materiału PLA, natomiast najwyższą precyzję odwzorowania detali zapewniły technologie fotopolimerowe (DLP, MJP) – niestety kosztem zwiększonej złożoności procesu i nakładów potrzebnych do jego przeprowadzenia. Zastosowanie metody hybrydowej łączącej technologię FDM z odlewnictwem silikonowym stanowi efektywną alternatywę umożliwiającą uzyskanie modeli transparentnych przy ograniczeniu zużycia materiału. Analiza mechaniczna hydrożelu alginianu sodu i metylocelulozy wykazała możliwość kontrolowanego kształtowania właściwości sprężystych struktur biomimetycznych, co potwierdza potencjał wykorzystania biodruku w mo-

delowaniu tkanek miękkich. Otrzymane modele wykazują istotny potencjał aplikacyjny w edukacji medycznej oraz planowaniu procedur onkologicznych, jednak dalsze badania powinny obejmować ilościową walidację dokładności geometrycznej oraz rozszerzoną ocenę kliniczną w większej grupie specjalistów.

BIBLIOGRAFIA

- Bisighini, B., Di Giovanni, P., Scerrati, A., Trovalusci, F., Vesco, S. (2023). Fabrication of compliant and transparent hollow cerebral vascular phantoms for in vitro studies using 3D printing and spin-dip coating. *Materials*, 16(1), 166, <https://doi.org/10.3390/ma16010166>.
- Chen, W., Kuniewicz, M., Aminu, A., Karaesmen, I., Duong, N., Proniewska, K., Dam, P., Iles, T., Hołda, M.K., Walocha, J., Iaizzo, P., Colman, M., Dobrzyński, H., Atkinson, A. (2025). High-resolution 3D visualization of human hearts with emphases on the cardiac conduction system components – a new platform for medical education, mix/virtual reality, computational simulation. *Frontiers in Medicine*, 12, <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1507005>.
- Choi, Y.-H., Kim, C.-M., Jeong, H.-S., Youn, J.-H. (2016). Influence of bed temperature on heat shrinkage shape error in FDM additive manufacturing of the ABS-engineering plastic. *World Journal of Engineering and Technology*, 4, 3D, 186–192, <https://doi.org/10.4236/wjet.2016.43D022>.
- Chung, M., Radacsi, N., Robert, C., McCarthy, E.D., Callanan, A., Conlisk, N., Hoskins, P.R., Koutsos, V. (2018). On the optimization of low-cost FDM 3D printers for accurate replication of patient-specific abdominal aortic aneurysm geometry. *3D Printing in Medicine*, 4, 2, <https://doi.org/10.1186/s41205-017-0023-2>.
- Đurović, S., Lazarević, D., Šarkoćević, Ž., Blagojević, M., Stanojković, J. (2021). 3D printing: technology, materials, and applications in the manufacturing industry. [W:] *15th International Conference on Accomplishments in Mechanical and Industrial Engineering*, Banja Luka, 28–29 May 2021. Proceedings DEMI 2021 (ss. 55–60). Banja Luka: University of Banja Luka, Faculty of Mechanical Engineering.
- Juniasih, O.A., Mubarak, F., Widjaya, A. (2025). Fabrication and mechanical characterization of PLA/PCL-MCC bio-composite filaments for FDM 4D printing. *E3S Web of Conferences*, 645, 01010, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202564501010>.
- Kaklamani, G., Cheneler, D., Grover, L.M., Adams, M.J., Bowen, J. (2014). Mechanical properties of alginate hydrogels manufactured using external gelation. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 36, 135–142, <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2014.04.013>.
- Kaul, R.P., Malviya, A., Sagar, S., Kumar, S., Gupta, A., Kumar, A. (2024). An experimental study conducted on material properties used in a FDM printer for medical models. *Fortune Journal of Health Sciences*, 7, 767–778, <https://doi.org/10.26502/fjhs.247>.

- Kurowiak, J., Kaczmarek-Pawelska, A., Mackiewicz, A., Baldy-Chudzik, K., Mazurek-Popczyk, J., Zaręba, Ł., Klekiel, T., Będziński, R. (2022). Changes in the mechanical properties of alginate-gelatin hydrogels with the addition of pygeum africanum with potential application in urology. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(18), 10324, <https://doi.org/10.3390/ijms231810324>.
- Li, X., Gou, J., Maiti, C., Ilegbusi, O.J. (2024). Synthesis and characterization of ultra-soft alginate hydrogel mimicking lung tissue. *International Journal of Smart and Nano Materials*, 15(3), 593–609, <https://doi.org/10.1080/19475411.2024.2395261>.
- Lou, X., Tang, X., Dong, L., Zhao T., Wang F., Zhao L., Zhang T. (2025). Influence of layer thickness and extrusion ratio on strand morphology, porosity, surface roughness, and anisotropic mechanical properties in FDM. *Scientific Reports*, 15, 42351, <https://doi.org/10.1038/s41598-025-26253-0>.
- Malektaj, H., Drozdov, A.D., Christiansen, J.C. (2023). Mechanical properties of alginate hydrogels cross-linked with multivalent cations. *Polymers*, 15(14), 3012, <https://doi.org/10.3390/polym15143012>.
- Mironov, V., Boland, T., Trusk, T., Forgacs, G., Markwald, R.R. (2003). Organ printing: computer-aided jet-based 3D tissue engineering. *Trends in Biotechnology*, 21(4), 157–161, [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(03\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(03)00033-7).
- Murphy, S.V., Atala, A. (2014). 3D bioprinting of tissues and organs. *Nature Biotechnology*, 32, 773–785, <https://doi.org/10.1038/nbt.2958>.
- Pérez, M.M., Espinar, C., Pecho, O.E., Tejada-Casado, M., Bona, A.D. (2025). Effect of aging on optical behavior and color of 3D printing resin-based dental restorative materials. *Journal of Dentistry*, 157, 105734, <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2025.105734>.
- Popescu, D., Stochioiu, C., Baci, F., Iacob, M.C. (2023). 3D-printed polycaprolactone mechanical characterization and suitability assessment for producing wrist–hand orthoses. *Polymers*, 15(3), 576, <https://doi.org/10.3390/polym15030576>.
- Raporty. Krajowy Rejestr Nowotworów. Pobrano 23.02.2026 z: <https://onkologia.org.pl/pl/raporty>.
- Shaukat, U., Rossegger, E., Schlögl, S. (2022). A review of multi-material 3D printing of functional materials via vat photopolymerization. *Polymers*, 14(12), 2449, <https://doi.org/10.3390/polym14122449>.
- Shen, Y.R., Chen, H., Ma, K.N., Sun, Y.C. (2021). Quantitative evaluation of printing accuracy of multi-color and multi-hardness three-dimensional printing dental model with photopolymer jetting. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*, 56(7), 652–658, <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn112144-20210315-00120>.
- Witowski, J.S. (2020). *Zastosowanie druku 3D w chirurgii laparoskopowej nowotworów wątroby*. Rozprawa doktorska. Kraków: UJ – Collegium Medicum.
- Witowski, J.S., Coles-Black, J., Zuzak, T.Z., Pędziwiatr, M., Chuen, J., Major, P., Budzyński, A. (2017). 3D printing in liver surgery: a systematic review. *Telemedicine and e-Health*, 23(12), 943–947, <https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0>.
- Wohlers Report (2022). *Analysis. Trends. Forecasts. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry*. Wohlers Associates.

ABSTRACT

3D bioprinted organ models in personalised oncology

Introduction. The study was designed to assess the usefulness of selected additive manufacturing technologies in producing personalised oncological models based on data derived from computed tomography (CT). **Material.** The research material consisted of imaging datasets in DICOM format, which underwent segmentation, three-dimensional reconstruction and subsequent conversion to STL format using specialised medical software. **Methods.** The physical models were produced using four technologies: Fused Deposition Modelling (FDM), Multi Jet Printing (MJP), Digital Light Processing (DLP) and extrusion-based bioprinting. A comparative analysis was conducted in terms of geometric accuracy, surface quality, reproduction of vascular structures, as well as production cost and time. **Results.** DLP technology exhibited the highest precision in the representation of pathological lesions and vascular details. Multi Jet Printing (MJP) technology delivered comparable quality, albeit at the highest unit cost. Despite lower accuracy, FDM technology offered the most favourable cost-to-utility ratio and the highest operational availability. **Conclusions.** The integration of CT data with additive manufacturing technologies represents a valuable approach in personalised oncology. 3D models effectively facilitate the analysis of spatial relationships between the tumour and adjacent organ structures, which is crucial for education and preoperative planning.

Keywords: 3D printing, personalised medicine, oncological models, additive manufacturing technologies, 3D reconstruction

Adres do korespondencji

e-mail: magdalena.labowska@pwr.edu.pl

ZUZANNA DZIECIĄTKOWSKA¹, ZUZANNA SZOSTAK²,
MAGDALENA ŁAZORCZYK-SZKUDLARSKA²

¹ Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Wydział Wrocławskiej Akademii Biznesu, Akademia Techniczno-Artystyczna
Nauk Stosowanych w Warszawie
Studenckie Koło Naukowe Travel Business Sport

ROLA MEDIÓW SPOŁECZNOŚCIOWYCH W MOTYWOWANIU DO PODEJMOWANIA AKTYWNOŚCI FIZYCZNEJ MŁODZIEŻY I MŁODYCH DOROSŁYCH Z POKOLENIA Z

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena aktywności fizycznej młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z oraz określenie roli mediów społecznościowych w motywowaniu tej grupy do podejmowania aktywności fizycznej. **Materiał.** Badaniami objęto 110 osób (91 kobiet i 19 mężczyzn) w wieku 15–29 lat. **Metody.** Wykorzystano autorską ankietę oraz skróconą polską wersję Międzynarodowego Kwestionariusza Aktywności Fizycznej (IPAQ) zawierającego 7 pytań dotyczących wszystkich rodzajów aktywności fizycznej związanej z życiem codziennym, pracą i wypoczynkiem. **Wyniki.** Średni poziom aktywności fizycznej badanych, obliczony na podstawie wyników kwestionariusza IPAQ, wynosił $2239,5 \pm 276,4$ MET-min/tydz. Wśród kobiet (46,2%) oraz mężczyzn (47,3%) przeważała aktywność fizyczna na wysokim poziomie. Ponadto 81,3% kobiet i 57,9% mężczyzn zadeklarowało, że podejmuje aktywność fizyczną pod wpływem treści zamieszczanych w mediach społecznościowych. **Wnioski.** W badanej populacji dominował wysoki poziom aktywności fizycznej. Treści publikowane w mediach społecznościowych mogą stanowić czynnik motywujący do podejmowania aktywności ruchowej wśród części przedstawicieli pokolenia Z. Dotyczy to zwłaszcza takich platform, jak Instagram i TikTok. Aby dotrzeć do pokolenia Z, kampanie promujące aktywność fizyczną powinny być tworzone w sposób zrozumiały i prosty. **Słowa kluczowe:** aktywność fizyczna, IPAQ, pokolenie Z, motywacja, media społecznościowe

WPROWADZENIE

Aktywność fizyczna jest podstawową formą ruchu człowieka. Stanowi jeden z kluczowych determinantów zdrowia i jakości życia. Praca mięśni szkieletowych, powodująca wydatek energetyczny większy niż zapotrzebowanie na podstawową przemianę materii, jest niezbędna do prawidłowego rozwoju organizmu (Gieroba, 2019). Ruch należy do najważniejszych

potrzeb człowieka na każdym etapie jego rozwoju (Siminska i Nowacka, 2022). Podejmowanie aktywności fizycznej w życiu codziennym warunkuje zachowanie zarówno zdrowia fizycznego, jak i dobrostanu psychicznego (Hovland i wsp., 2023). Ma to szczególne znaczenie w perspektywie długofalowej – aktywni ruchowo i sprawni fizycznie seniorzy częściej zachowują samodzielność, niezależność oraz dobre samopoczucie, co sprzyja zjawisku pozytywnego starzenia się (Kostka i Kostka, 2017).

Istotnym aspektem regularnie wykonywanych ćwiczeń fizycznych jest prewencja chorób sercowo-naczyniowych oraz wielu chorób przewlekłych, takich jak cukrzyca typu 2, otyłość, osteoporoza czy nowotwory, m.in. piersi i jelita grubego (Biernat i Drygas, 2021). Wysiłek fizyczny sprzyja poprawie jakości snu, redukcji negatywnych skutków stresu oraz zmniejszeniu nasilenia stanów depresyjnych i lękowych (Morga i wsp., 2015; Saran i wsp., 2021). Wyniki szeroko zakrojonych badań epidemiologicznych potwierdzają, że regularna aktywność ruchowa istotnie zmniejsza ryzyko zgonu z przyczyn sercowo-naczyniowych (o 30–50%) oraz redukuje ogólną śmiertelność o mniej więcej 30% (Gieroba, 2019).

W ostatnich latach u młodych ludzi obserwuje się niepokojącą tendencję do ograniczania aktywności fizycznej na rzecz siedzącego trybu życia, co stanowi istotne wyzwanie dla zdrowia publicznego (Sluijs i wsp., 2021). Zgodnie z zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO, 2020) dzieci i młodzież w wieku 5–17 lat powinny codziennie podejmować co najmniej 60 min umiarkowanej lub intensywnej aktywności fizycznej oraz minimalizować czas spędzany w pozycji siedzącej, zwłaszcza przed ekranem, w celach rekreacyjnych. Dorośli w wieku 18–64 lat powinni wykonywać co najmniej 150–300 min umiarkowanej aktywności fizycznej tygodniowo lub 75–150 min intensywnej aktywności fizycznej, bądź łączyć obie te formy w odpowiednich proporcjach. W celu uzyskania dodatkowych korzyści zdrowotnych zaleca się zwiększenie umiarkowanego wysiłku fizycznego powyżej 300 min lub intensywnego wysiłku powyżej 150 min tygodniowo. Rekomenduje się również ograniczanie czasu spędzanego w pozycji siedzącej poprzez podejmowanie aktywności ruchowej o dowolnej intensywności (WHO, 2020).

Młodzież i młodzi dorośli z pokolenia Z to osoby urodzone w latach 1997–2012, potocznie określane jako zoomers. Jest to pierwsza generacja dorastająca w pełni w środowisku cyfrowym, dla której technologie informacyjno-komunikacyjne, Internet oraz media społecznościowe stanowią naturalny element codziennego funkcjonowania (Wojtoszek, 2023). Poko-

lenie Z, często nazywane *digital natives* (Prensky, 2001), charakteryzuje się stałą obecnością online, intensywnym korzystaniem z treści multimedialnych oraz szybkim przyswajaniem informacji wizualnych.

Media społecznościowe to cyfrowe platformy umożliwiające tworzenie i udostępnianie treści oraz komunikowanie się z innymi użytkownikami na całym świecie (Chakrabarti, 2024). Do najczęściej wykorzystywanych należą m.in. Facebook, Instagram, YouTube, TikTok oraz platforma X, a także komunikatory, takie jak Messenger czy WhatsApp. Dla przedstawicieli pokolenia Z media społecznościowe odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu relacji społecznych i opinii oraz tworzeniu własnego wizerunku. Stanowią także ważne źródło informacji i inspiracji.

Korzystanie z Internetu pozostaje integralnym elementem codziennej rutyny młodzieży i młodych dorosłych, wpływając na sposób komunikowania się, budowania tożsamości oraz wzmacniania poczucia własnej wartości (Yadav i Rai, 2017). Media społecznościowe, dzięki szerokiemu zasięgowi i szybkości przekazu, mają ogromny potencjał w zakresie promocji zachowań prozdrowotnych, co zostało uwzględnione w Globalnym Planie Działania WHO na rzecz Aktywności Fizycznej (WHO, 2018). Plucik-Mrozek i wsp. (2020) wskazują jednocześnie, że nadmiar czasu spędzanego przed ekranem może wśród młodych ludzi negatywnie wpływać na kondycję fizyczną oraz ograniczać realizację zaleceń dotyczących aktywności fizycznej.

CEL BADAŃ

Celem badań była ocena aktywności fizycznej młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z oraz określenie roli mediów społecznościowych w motywowaniu tej grupy do podejmowania aktywności fizycznej.

Postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy poziom aktywności fizycznej młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z można uznać za wystarczający?
2. Czy wykorzystywane przez młodzież i młodych dorosłych z pokolenia Z media społecznościowe pełnią funkcję motywującą do podejmowania aktywności fizycznej?
3. Które media społecznościowe są najczęściej wykorzystywane przez młodzież i młodych dorosłych z pokolenia Z?

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 110 osób (91 kobiet i 19 mężczyzn) w wieku 15–29 lat, przedstawicieli pokolenia Z. Struktura próby ze względu na rok urodzenia była następująca: 17,3% stanowiły osoby urodzone w latach 1997–2000, 43,6% w latach 2001–2004, 35,5% w latach 2005–2008 i 3,6% w latach 2009–2012. Dobór uczestników miał charakter celowy, zgodny z ustalonym kryterium wieku. Analiza miejsca zamieszkania wykazała, że 20,9% badanych mieszkało na wsi, 8,2% w miastach liczących mniej niż 20 000 mieszkańców, 18,2% w miastach średnich (20 000 – 100 000 mieszkańców), a 52,7% w miastach powyżej 100 000 mieszkańców (tab. 1). Najwięcej respondentów pochodziło z województwa dolnośląskiego (35,5%), następnie z województwa mazowieckiego (17,3%), a także z województw małopolskiego i śląskiego (po 10%).

Tabela 1. Charakterystyka demograficzna badanych

Czynnik	Kobiety (n = 91)		Mężczyźni (n = 19)		Ogółem (n = 110)	
	n	%	n	%	n	%
Miejsce zamieszkania						
wieś	19	20,9	4	21,0	23	20,9
miasto poniżej 20 000 mieszkańców	8	8,8	1	5,3	9	8,2
miasto 20 000 – 100 000 mieszkańców	19	20,9	1	5,3	20	18,2
miasto powyżej 100 000 mieszkańców	45	49,4	13	68,4	58	52,7
Status zamieszkania						
z rodzicami	42	46,2	7	36,8	49	44,5
ze współlokatorami/partnerem	29	31,8	9	47,4	38	34,5
w akademiku	5	5,5	0	0	5	4,5
sama/sam	15	16,5	3	15,8	18	16,5
Status zawodowy						
uczeń/student	32	35,2	6	31,5	38	34,5
student pracujący	53	58,2	12	63,2	65	59,1
pracuje	6	6,6	1	5,3	7	6,4

Metody

W celu przeprowadzenia badania stworzono kwestionariusz ankiety przy użyciu platformy Google Forms. Do badania wykorzystano autorską ankietę przygotowaną w Formularzu Google oraz skróconą wersję Międzynarodowego Kwestionariusza Aktywności Fizycznej IPAQ – wersja polska (Biernat i wsp., 2007). Ankieta, udostępniona poprzez link w grupach dyskusyjnych oraz rozpowszechniona za pomocą komunikatorów (Messenger, WhatsApp) i portali społecznościowych, składała się z metryczki i czterech sekcji, obejmując 22 pytania – 8 otwartych i 14 zamkniętych – dotyczące preferencji w zakresie aktywności fizycznej, czasu wolnego, korzystania z mediów społecznościowych oraz motywacji do podejmowania wysiłku fizycznego. Dane zebrano w styczniu 2025 r.

Skrócona wersja IPAQ pozwoliła ocenić poziom aktywności fizycznej w różnych sferach życia, a wyniki klasyfikowano według następujących kryteriów: niedostateczna aktywność fizyczna – osoby, które nie wykazywały żadnej aktywności fizycznej bądź nie spełniały warunków dla poziomu wystarczającego i wysokiego; wystarczająca aktywność fizyczna – osoby spełniające przynajmniej jeden warunek: (1) 3 lub więcej dni intensywnych wysiłków fizycznych nie mniej niż 20 min dziennie, (2) 5 lub więcej dni umiarkowanych wysiłków lub chodzenia nie mniej niż 30 min dziennie, (3) 5 lub więcej dni którejkolwiek kombinacji aktywności fizycznej (chodzenia, umiarkowanych lub intensywnych wysiłków) przekraczającej 600 MET-min/tydz.; wysoka aktywność fizyczna – osoby spełniające przynajmniej jeden warunek: (1) 3 lub więcej dni intensywnych wysiłków fizycznych, łącznie co najmniej 1500 MET-min/tydz., (2) 7 lub więcej dni którejkolwiek kombinacji wysiłków (chodzenia, umiarkowanych lub intensywnych wysiłków) przekraczającej 3000 MET-min/tydz. (Biernat i wsp., 2007).

Analiza statystyczna

Do opracowania wyników posłużono się arkuszem kalkulacyjnym Microsoft Excel. Zastosowano metody statystyki opisowej, w tym obliczono średnią arytmetyczną ($\bar{x}$), wariancję oraz odchylenie standardowe (SD) dla wybranych zmiennych. Przeprowadzono również analizę częstości oraz procentowy rozkład odpowiedzi. Zależności pomiędzy częstościami odpowiedzi w odniesieniu do zmiennych jakościowych analizowano za pomocą

testu niezależności chi-kwadrat. Poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$.

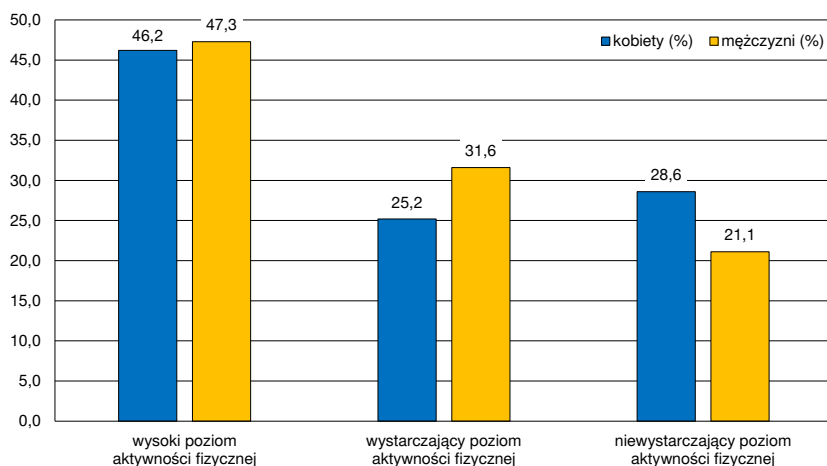
WYNIKI

Średni poziom aktywności fizycznej badanych, obliczony na podstawie wyników kwestionariusza IPAQ, wynosił $2239,5 \pm 276,4$ MET-min/tydz. Kobiety osiągnęły średni wynik $2126,5 \pm 286,9$ MET-min/tydz., a mężczyźni $2780,9 \pm 809,3$ MET-min/tydz.

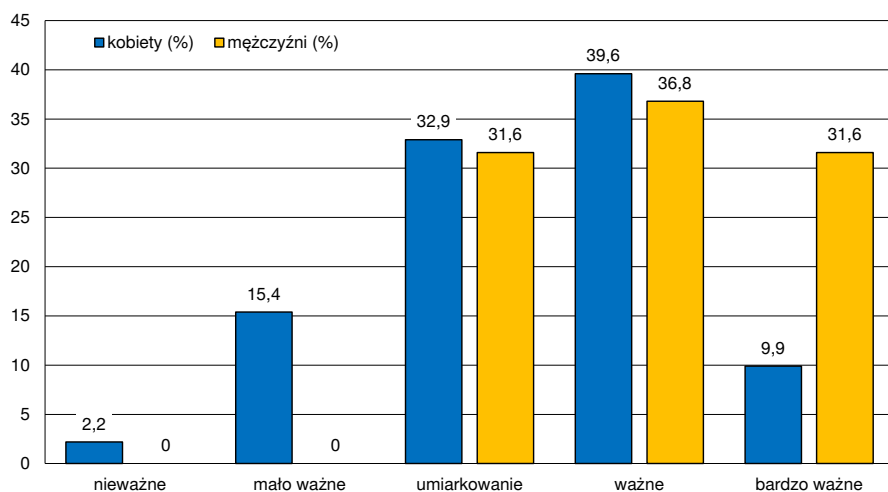
U 46,2% kobiet oraz u 47,3% mężczyzn przeważała aktywność fizyczna na wysokim poziomie (ryc. 1). W analizie wyników kwestionariusza IPAQ nie wykazano w tym aspekcie istotnych statystycznie różnic w zależności od płci ($p = 0,32$).

Zarówno kobiety (39,6%), jak i mężczyźni (36,8%) uznali aktywne spędzanie czasu wolnego za ważne. Odpowiedź „bardzo ważne” częściej wskazywali mężczyźni (31,6%, kobiety 9,9%). W przypadku odpowiedzi „umiarkowanie” odnotowano zbliżone wartości: 32,9% kobiet i 31,6% mężczyzn (ryc. 2).

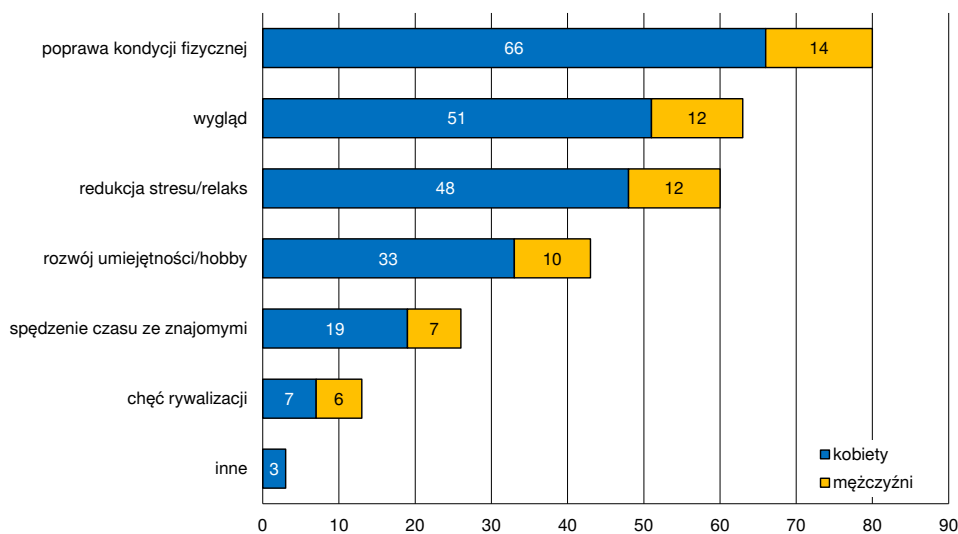
Najczęściej podawanym – zarówno przez kobiety (66 wskazań), jak i mężczyzn (14 wskazań) – czynnikiem motywującym była poprawa kondycji fizycznej (ryc. 3). Kolejnymi pod względem częstości wyboru motywacjami w grupie kobiet okazały się – „wygląd” (51 wskazań) i „redukcja stresu/relaks” (48 wskazań). Wśród mężczyzn odpowiedzi „wygląd” i „redukcja stresu/relaks” uzyskały mniejszą liczbę wskazań (po 12). Roz-



Rycina 1. Poziom aktywności fizycznej badanych



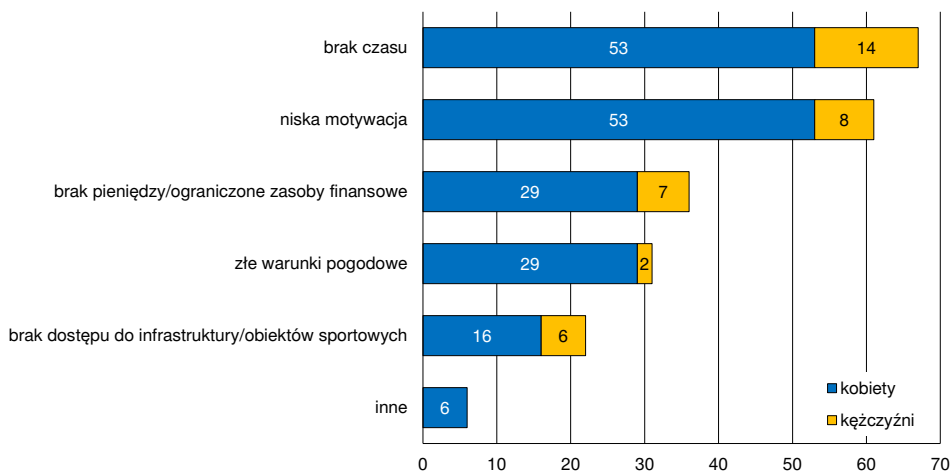
Rycina 2. Postrzeganie aktywnego spędzania czasu wolnego w zależności od płci badanych



Rycina 3. Motywacje podejmowania aktywności fizycznej przez badanych (pytanie wielokrotnego wyboru)

wój umiejętności lub hobby częściej wybierały kobiety (33 odpowiedzi) niż mężczyźni (10 odpowiedzi).

W zakresie barier utrudniających podejmowanie aktywności fizycznej kobiety za główne uznały w równym stopniu brak czasu oraz niską motywację (po 53 wskazania). Niekorzystne warunki pogodowe częściej były postrzegane jako przeszkoda przez kobiety (29 odpowiedzi) niż przez męż-



Rycina 4. Bariery związane z podejmowaniem aktywności fizycznej przez badanych (pytanie wielokrotnego wyboru)

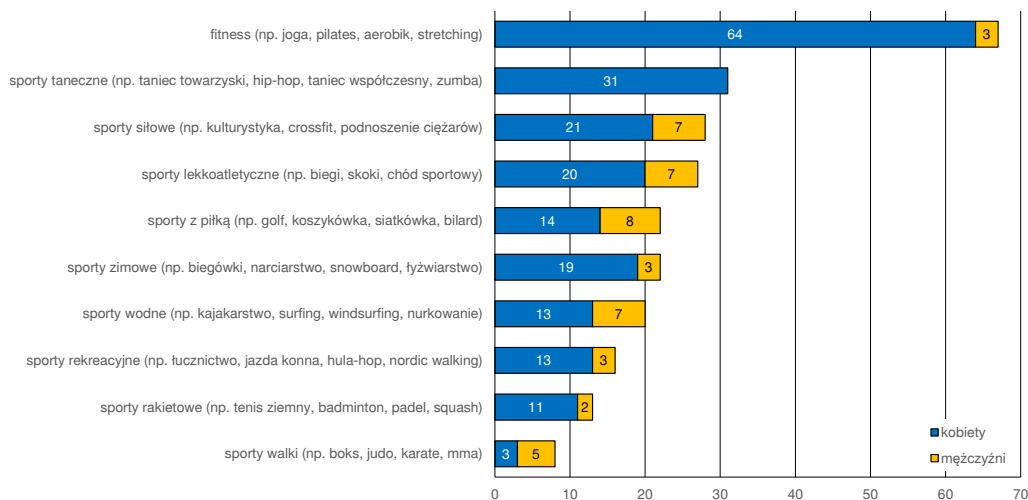
czyn (2 odpowiedzi). Podobnie ograniczenia finansowe – częściej wskazywały je kobiety (29 odpowiedzi) niż mężczyźni (7 odpowiedzi) (ryc. 4).

Najczęściej wskazywaną przez kobiety formą aktywności fizycznej był fitness (m.in. joga, pilates, stretching) – 64 odpowiedzi (u mężczyzn odnotowano jedynie 3 wskazania w tym zakresie) (ryc. 5). W dalszej kolejności znalazły się – sporty taneczne (31 odpowiedzi), sporty siłowe (21 odpowiedzi) oraz sporty lekkoatletyczne (20 odpowiedzi). W grupie mężczyzn najczęściej wskazań uzyskały sporty siłowe oraz lekkoatletyczne (po 7 wskazań).

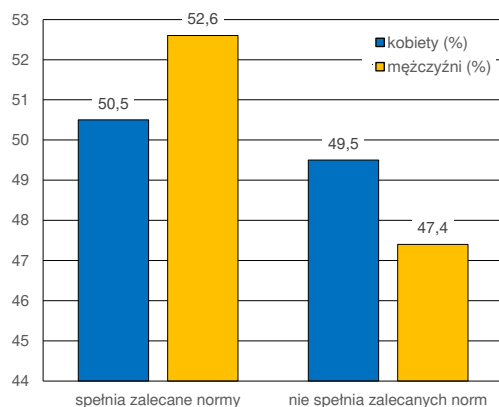
Kobiety częściej wykazywały zainteresowanie sportami zimowymi (19 wskazań) niż mężczyźni (3 wskazania). Podobną tendencję odnotowano w przypadku sportów z użyciem piłki – tę formę wybrało 14 kobiet i 8 mężczyzn (ryc. 5).

W badaniach zastosowano klasyfikację czasu spędzanego w pozycji siedzącej (< 360 min/dzień, > 360 min/dzień) zgodnie z rekomendowanym podziałem doby (24 godz.) na optymalne zakresy aktywności (Brakenridge i wsp., 2024). Wartości poniżej 360 min/dzień uznawano za spełniające zalecane normy, natomiast przekroczenie tego czasu (> 360 min/dzień) interpretowano jako niespełnianie rekomendacji. Zarówno większość kobiet (50,5%), jak i mężczyzn (52,2%) mieściła się w zalecanej limicie czasu spędzanego w pozycji siedzącej (ryc. 6).

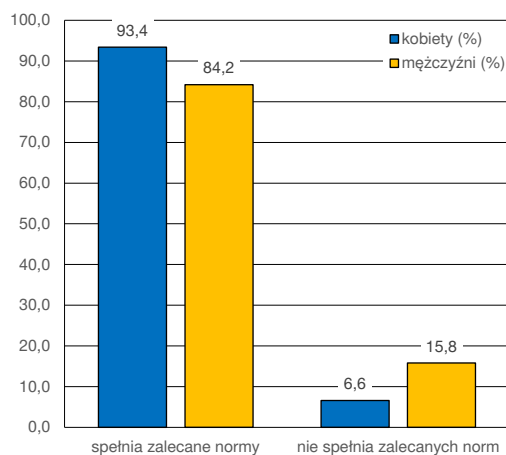
Kobiety deklarowały mniej czasu spędzanego w pozycji siedzącej ($379,4 \pm 27,2$ min/dzień) niż mężczyźni ($408,4 \pm 79,3$ min/dzień).



Rycina 5. Preferowane przez badanych formy aktywnego spędzania czasu wolnego (pytanie wielokrotnego wyboru)



Rycina 6. Czas spędzany przez badanych w pozycji siedzącej

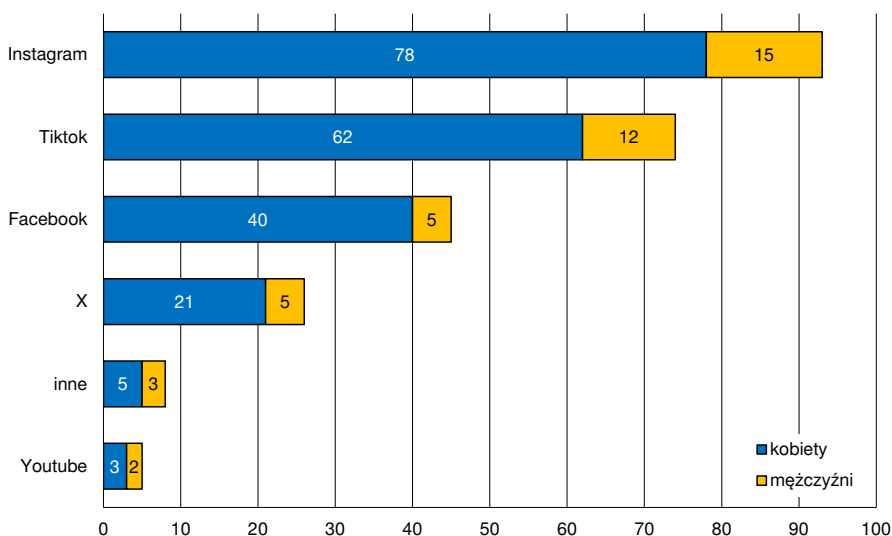


Rycina 7. Czas spędzany przez badanych w mediach społecznościowych

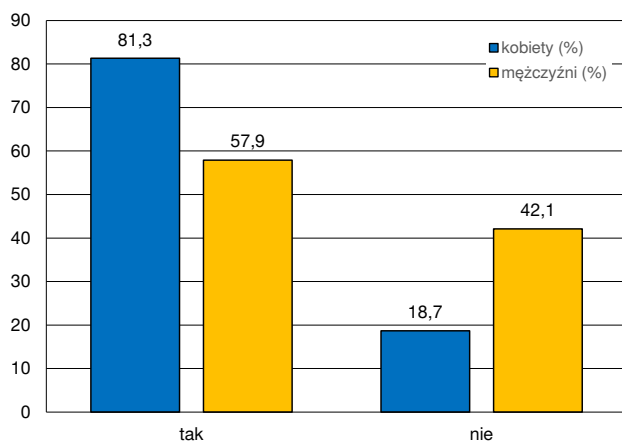
Czas przeznaczany na media społecznościowe podzielono zgodnie z klasyfikacją przyjętą przez Breland i wsp. (2013). Czas poniżej 300 min/dzień uznawano za spełniający zalecane normy, a przekroczenie tego progu (> 300 min/dzień) traktowano jako niespełnianie rekomendacji. Zdecydowana większość kobiet (93,4%) oraz większość mężczyzn (84,2%) spełniała przyjęte normy, poświęcając mniej niż 300 min dziennie na media społecznościowe. Odsetek osób niespełniających zaleceń, tj. korzystających z mediów społecznościowych przez ponad 300 min dziennie, okazał się wyższy wśród mężczyzn (15,8%) niż wśród kobiet (6,6%) (ryc. 7). Nie odnotowano istotnej statystycznie różnicy w zakresie czasu spędzanego w mediach społecznościowych między badanymi ($p = 0,2$).

Dominującą platformą społecznościową był Instagram wskazywany zarówno przez kobiety (78 odpowiedzi), jak i mężczyzn (15). Kolejne miejsce zajmował TikTok, wybierany przez 62 kobiety i 12 mężczyzn. Na trzeciej pozycji znalazł się Facebook, którego częściej wskazywały kobiety (40; mężczyźni 5) (ryc. 8).

Kobiety częściej niż mężczyźni deklarowały podejmowanie aktywności fizycznej pod wpływem treści publikowanych w mediach społecznościowych (81,3% wobec 57,9%) (ryc. 9).



Rycina 8. Najczęściej używane przez badanych media społecznościowe (pytanie wielokrotnego wyboru)



Rycina 9. Odpowiedzi na pytanie: Czy kiedykolwiek zaczęłaś/zacząłeś ćwiczyć pod wpływem treści w mediach społecznościowych?

DYSKUSJA

Podjęte badania miały na celu ocenę aktywności fizycznej młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z oraz określenie roli mediów społecznościowych w motywowaniu tej grupy do podejmowania aktywności fizycznej.

Aktywność fizyczna stanowi jeden z kluczowych determinantów zdrowia oraz jakości i długości życia człowieka. Regularny wysiłek fizyczny odgrywa istotną rolę w profilaktyce chorób układu sercowo-naczyniowego, a także przyczynia się do zmniejszenia ryzyka przedwczesnej śmierci i obniżenia wskaźnika umieralności ogólnej (Lavie i wsp., 2019). Aktywność fizyczna jest obecnie traktowana jako metoda skutecznej profilaktyki i leczenia wielu chorób. Coraz większy nacisk kładą na nią lekarze różnych specjalności: diabetolodzy, kardiolodzy, ortopedzi, ginekolodzy czy dietetycy. Tylko optymalna dawka ćwiczeń fizycznych, dostosowana do wieku, stanu zdrowia i możliwości ćwiczących, może przynieść korzyści w podtrzymywaniu zdrowia (Drygas i wsp., 2021; Góreczna i Garczyński, 2017).

Poziom aktywności fizycznej badanych wynosił średnio $2239,5 \pm 276,4$ MET-min/tydz., co wskazuje na wysoki poziom podejmowanego wysiłku fizycznego w analizowanej grupie. U kobiet średni wynik MET-min/tydz. uzyskał wartość $2126,5 \pm 286,9$, u mężczyzn – $2780,9 \pm 809,3$ MET-min/tydz., co sugeruje, że znaczna część respondentów osiągnęła poziom aktywności fizycznej rekomendowany przez World Health Organization (WHO, 2020). Średni poziom aktywności fizycznej badanych okazał się o 11,6% wyższy niż wśród młodzieży ocenianej przez Bergiera i wsp. (2012), u której średnia wartość dla ogółu wyniosła 1980 MET-min/tydz. (1554 MET-min/tydz. u kobiet i 2611 MET-min/tydz. u mężczyzn).

Zdecydowana większość poddanych analizie respondentów (93,4% kobiet i 84,2% mężczyzn) przyznała się do korzystania z mediów społecznościowych w wymiarze do 300 min dziennie. W niniejszych badaniach przyjęto następującą klasyfikację czasu spędzanego w mediach społecznościowych: poniżej 5 godzin dziennie (< 300 min/dzień) – spełnia zalecane normy, powyżej 5 godzin dziennie (> 300 min/dzień) – nie spełnia norm (Breland i wsp., 2013). Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic międzypłciowych w zakresie spełniania norm dotyczących czasu spędzanego w mediach społecznościowych ($p = 0,2$), jednak interpretacja tego wyniku powinna być ostrożna ze względu na znaczną dysproporcję w liczebności badanych kobiet i mężczyzn. Uzyskane wyniki mogą wskazywać, że media społecznościowe stanowią istotny element codziennego funkcjonowania przedstawicieli pokolenia Z.

Przedstawione wyniki pozostają w zgodzie z badaniami przeprowadzonymi wśród studentów Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, reprezentujących pokolenie Z, w których wykazano, że 98% ankietowanych korzysta z mediów społecznościowych codziennie, a 46% ich użytkowników poświęca na to 180–240 min dziennie (Sobura, 2023).

Najczęściej używanymi przez respondentów platformami były Instagram oraz TikTok, co potwierdza dominację mediów opartych na przekazie wizualnym i krótkich formach wideo w badanej grupie wiekowej. Preferencje kobiet i mężczyzn były zbieżne – respondenci obu płci najczęściej wskazywali Instagram jako najpopularniejszą platformę, a TikTok zajmował drugie miejsce. Przeprowadzone przez Pew Researcher Center (2022) badania obejmujące amerykańskie nastolatki wykazały zbliżone tendencje. Ankietowani wskazali TikTok i Instagram jako najchętniej wybierane aplikacje, co koresponduje z wynikami globalnej analizy preferowanych mediów społecznych (Kemp, 2022). Rola TikToka została również podkreślona przez Oszust (2023), która wskazała, że platforma ta może stanowić skuteczne narzędzie wykorzystywane przez marki w docieraniu do konsumentów z pokolenia Z.

Istotnym wynikiem badań własnych jest ustalenie, że 81,3% kobiet oraz 57,9% mężczyzn podjęło aktywność fizyczną pod wpływem treści publikowanych w mediach społecznościowych. Wskazuje to na wyraźny potencjał motywacyjny tych mediów, zwłaszcza wśród kobiet. Kawiak-Jawor i wsp. (2019), analizując zamieszczane w mediach społecznościowych treści dotyczące zdrowia i sportu, wykazały, że największy odsetek postów stanowią metamorfozy (zdjęcia sylwetek przed i po). Autorki podkreślają, iż publikowane materiały charakteryzuje wysoki poziom auten-

tyczności przekazu. Wykazały również, że budowanie wizerunku osoby dbającej o zdrowie jest w internecie łatwiejsze, a świadomość społecznej kontroli działa motywująco do podejmowania aktywności prozdrowotnych. Również López-Carril i wsp. (2025) prowadzący badania wśród hiszpańskich studentów odnotowali, że nieznacznie większy odsetek kobiet (64,4%) niż mężczyzn (62%) obserwuje profile związane ze sportem i aktywnością fizyczną, co może sugerować większe oddziaływanie tego typu treści na kobiety.

Siedzący tryb życia w znaczącym stopniu zwiększa ryzyko chorób układu krążenia, cukrzycy, nadciśnienia tętniczego oraz nowotworów (Patterson, 2018). W badaniach własnych przyjęto, że czas spędzany w pozycji siedzącej na poziomie poniżej 360 min/dzień spełnia zalecane normy, przekroczenie tej wartości (> 360 min/dzień) interpretowano jako niespełnianie rekomendacji. Przyjęta klasyfikacja była zgodna z rekomendowanym podziałem doby (24 godz.) na optymalne zakresy aktywności obejmujące średnio 6 godz. siedzenia, 5 godz. i 10 min stania, 2 godz. i 10 min lekkiej aktywności fizycznej, 2 godz. i 10 min umiarkowanego i/lub intensywnego wysiłku oraz 8 godz. i 20 min snu (Brakenridge i wsp., 2024). Zarówno większość badanych kobiet (50,5%), jak i mężczyzn (52,2%) mieściła się w zalecanej limicie czasu spędzanego w pozycji siedzącej. Kobiety deklarowały nieco krótszy czas ($379,4 \pm 27,2$ min/dzień) niż mężczyźni ($408,4 \pm 79,3$ min/dzień), co może wskazywać na większe przekroczenie zalecanych norm w grupie mężczyzn. Odmienne wyniki uzyskali Johansson i wsp. (2020), którzy analizowali długość czasu, jaki kobiety i mężczyźni poświęcają w pracy na siedzenie, chodzenie i poruszanie się oraz odpoczynek. Okazało się, że 50% mężczyzn i 34% kobiet pozostawało w pozycji siedzącej przez ponad 75% czasu ich pracy (mężczyźni – $530 \text{ min} \pm 57 \text{ min/dzień}$, kobiety – $516 \pm 51 \text{ min/dzień}$). W czasie odpoczynku odsetki te wynosiły odpowiednio 13% i 4%.

Uzyskane wyniki potwierdzają, że media społecznościowe mogą odgrywać ważną rolę w procesie kształtowania postaw prozdrowotnych oraz inicjowania zachowań związanych z aktywnością fizyczną wśród młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z. Jednocześnie wysoki poziom zachowań sedentarnych wskazuje na potrzebę dalszych działań edukacyjnych i profilaktycznych, wykorzystujących także potencjał platform cyfrowych do promowania regularnej aktywności fizycznej. W badaniach przeprowadzonych przez Soburę (2023) wśród studentów reprezentujących pokolenie Z 32% wskazało na używanie mediów społecznościowych

w celu poszukiwania treści o charakterze edukacyjnym, co potwierdza znaczenie tego typu narzędzi umożliwiających komunikowanie się w Internecie jako źródła informacji i wiedzy.

W kontekście praktycznym zasadne wydaje się projektowanie interwencji zdrowotnych oraz kampanii promujących aktywność fizyczną z wykorzystaniem najpopularniejszych platform – Instagram i TikTok – z uwzględnieniem specyfiki przekazu wizualnego.

OGRANICZENIA

Relatywnie niewielka liczba uczestników niniejszych badań (110 osób) utrudnia uogólnienie wyników na całą populację pokolenia Z. W ankiecie uczestniczyło więcej kobiet (91) niż mężczyzn (19), co uniemożliwia odniesienie w pełni wyników do populacji męskiej. Ze względu na znaczące zróżnicowanie w liczebności przedstawicieli obu płci, analizę wyników należy interpretować z ostrożnością, zwłaszcza w przypadku porównań międzypłciowych.

W badaniu wykorzystano autorski kwestionariusz dotyczący korzystania z mediów społecznościowych, który nie został poddany standaryzacji.

W kolejnych projektach badawczych zaleca się zwiększenie liczebności próby, zapewnienie bardziej zrównoważonego udziału obu płci oraz zastosowanie standaryzowanych narzędzi do oceny korzystania z mediów społecznościowych.

WNIOSKI

1. Poziom podejmowanej przez badane osoby aktywności fizycznej można uznać za wystarczającą. Płeć nie była tu czynnikiem różnicującym, niemniej jednak, interpretując uzyskane wyniki, należy uwzględnić znaczącą przewagę kobiet nad mężczyznami pod względem liczebności.
2. Treści publikowane w mediach społecznościowych, zwłaszcza na takich platformach, jak Instagram i TikTok, mogą pełnić funkcję motywującą do podejmowania aktywności fizycznej oraz kształtującą postawy prozdrowotne wśród młodzieży i młodych dorosłych z pokolenia Z.
3. Wykorzystując media społecznościowe do tworzenia kampanii promujących aktywność fizyczną, należy uwzględniać specyfikę komunikacji wizualnej charakterystycznej dla pokolenia Z.

BIBLIOGRAFIA

- Bergier, J., Kapka-Skrzypczak, L., Biliński, P., Paprzycki, P., Wojtyła, A. (2012). Physical activity of Polish adolescents and young adults according to IPAQ: a population based study. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 19(1), 109–115.
- Biernat, E., Drygas, W. (2021). Ekonomiczne i społeczne koszty niedostatecznej aktywności fizycznej Polaków. [W:] W. Drygas, M. Gajewska, T. Zdrojewski (red.), *Niedostateczny poziom aktywności fizycznej w Polsce jako zagrożenie i wyzwanie dla zdrowia publicznego. Raport Komitetu Zdrowia Publicznego Polskiej Akademii Nauk* (ss. 333). Warszawa: Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny.
- Biernat, E., Stupnicki, R., Gajewski, K.A. (2007). Międzynarodowy Kwestionariusz Aktywności Fizycznej (IPAQ) – wersja polska. *Wychowanie Fizyczne i Sport*, 51(1), 47–54
- Brakenridge, J.C., Koster, A., de Galan, E.B., Carver, A., Dumuid, D., Dzakpasu, Q.S.F., Eussen, M.P.J.S., Savelberg, M.C.H., Bosma, H., Owen, N., Schaper, C.N., Healy, N.G., Dunstan, W.D. (2024). Associations of 24 h time-use compositions of sitting, standing, physical activity and sleeping with optimal cardiometabolic risk and glycaemic control: the Maastricht study. *Diabetologia*, 67, 1356–1367, <https://doi.org/10.1007/s00125-024-06145-0>.
- Breland, J.Y., Fox, A.M., Horowitz, C.R. (2013). Screen time, physical activity and depression risk in minority women. *Mental Health and Physical Activity*, 6(1), 10–15, <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2012.08.002>
- Chakrabarti, D. (2024). A study on how social media FOMO (fear of missing out) impacts the gen Z audience. *Indian Journal of Mass Communication and Journalism*, 4(1), 1–6, <https://doi.org/10.54105/ijmcj.E1083.04010924>.
- Drygas, W., Głównyńska, R., Turska-Kmieć, A., Folga, A. (2021). Aktywność fizyczna jako kluczowy czynnik w promocji zdrowia i profilaktyce chorób przewlekłych. [W:] W. Drygas, M. Gajewska, T. Zdrojewski (red.), *Niedostateczny poziom aktywności fizycznej w Polsce jako zagrożenie i wyzwanie dla zdrowia publicznego. Raport Komitetu Zdrowia Publicznego Polskiej Akademii Nauk* (ss. 31–51). Warszawa: Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny. Pobrano 10.02.2026 z: <https://www.pzh.gov.pl/niedostateczny-poziom-aktywnosci-fizycznej-w-polsce-jako-zagrozenie-i-wyzwanie-dla-zdrowia-publicznego-raport-komitetu-zdrowia-publicznego-polskiej-akademii-nauk/>
- Gieroba, B. (2019). Wpływ aktywności fizycznej na zdrowie psychiczne i funkcje poznawcze. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 25(3), 153–161.
- Góreczna, A., Garczyński W. (2017) Motywy podejmowania aktywności fizycznej – przegląd literatury. *Journal of Education, Health and Sport*, 7(7), 322–337, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.831822>.
- Hovland, J.F., Langeland, E., Ness, O., Skogvang, B.O. (2023). Experiences with physical activity, health and well-being among young adults with serious mental illness. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being*, 18(1), <https://doi.org/10.1080/17482631.2023.2221911>

- Johansson, E., Mathiassen, S.E., Rasmussen, C.L., Hallman, D.M. (2020). Sitting, standing and moving during work and leisure among male and female office workers of different age: a compositional data analysis. *BMC Public Health*, 20(1), 826, <https://doi.org/10.1186/s12889-020-08909-w>
- Kawiak-Jawor, E., Kaczoruk, M., Kaczor-Szkodny, P. (2019). Media społecznościowe a zdrowie. Trendy w postrzeganiu zdrowego stylu życia. [W:] A. Kampka (red.), *Doświadczenie społeczeństwa – muzyka, obraz, media* (ss. 189–200). Warszawa: SGGW.
- Kemp, S. (2022) *Digital 2022: Global Overview Report*. Datereportal. Pobrano 10.02.2026 z: <https://datereportal.com/reports/digital-2022-global-overview-report>.
- Kostka, J., Kostka, T., Borowiak, E. (2017). Physical activity in older adults in relation to place of residence and coexistent chronic diseases. *Journal of Physical Activity and Health*, 14(1), 20–28, <https://doi.org/10.1123/jpah.2016-0097>.
- Lavie, C.J., Ozemek, C., Carbone, S., Katzmarzyk, P.T., Blair, S.N. (2019). Sedentary behavior, exercise, and cardiovascular health. *Circulation Research*, 124(5), 799–815, <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.312669>.
- López-Carril, S., Bae, D., Ribeiro, T., Alguacil, M. (2025). Social media as a driver of physical activity: a snapshot from sport sciences students. *Performance Enhancement and Health*, 13(2), 100331, <https://doi.org/10.1016/j.peh.2025.100331>.
- Morga, P., Traczyk, J., Wittenbeck, K., Zygmunt, A. (2015). Przegląd badań nad wpływem aktywności fizycznej na stan psychiczny oraz somatyczny osób starszych. *Physiotherapy*, 23(2), 42–51, doi: 10.1515/physio-2015-0008.
- Oszust, K. (2023), TikTok as a method of brands' communication with generation Z. *Research Journal*, 30(4, pt 2), 233–242.
- Patterson, R., McNamara, E., Tainio, M., de Sa, T.H., Smith, A.D., Sharp, S.J. (2018). Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: a systematic review and dose response meta-analysis. *European Journal of Epidemiology*, 33, 811–29, <https://doi.org/10.1007/s10654-018-0380-1>.
- Pew Research Center, August 2022, *Teens, Social Media and Technology 2022*. Pobrano 10.02.2026 z: https://www.pewresearch.org/wp-content/uploads/sites/20/2022/08/PI_2022.08.10_Teens-and-Tech_FINAL.pdf
- Plucik-Mrozek, A., Perl, M., Prochownik, M. (2020). Aktywność fizyczna dzieci i młodzieży. Narodowy Program Zdrowia na lata 2016–2020. Warszawa: Ministerstwo Zdrowia.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. Part 1. *On the Horizon*, 9(5), 1–6, <https://doi.org/10.1108/10748120110424816>
- Saran, T., Mazur, A., Łukasiewicz, J. (2021). The significance of physical activity in the prevention of depressive disorders. *Psychiatria Polska*, 55(5), 1025–1046, <https://doi.org/10.12740/PP/OnlineFirst/118054>.
- Siminska, J., Nowacka, K. (2022). Aktywność fizyczna u dzieci jako czynnik prozdrowotny. [W:] K. Maciąg, M. Maciąg (red.), *Znaczenie aktywności fizycznej dla zdrowia człowieka*. Tom 1 (ss. 7– 14). Lublin: Tygiel.

- Sobura, J. (2023). Social media marketing jutra – oczekiwania pokolenia Z wobec aktywności marek w mediach społecznościowych. *Marketing i Rynek*, 30(3), 33–44, <https://doi.org/10.33226/1231-7853.2023.3.3>.
- Sluijs, van E.M.F., Ekelund, U., Crochemore-Silva, I., Guthold, R., Ha, A., Lubans, D., Oyeyemi, A.L., Ding, D., Katzmarzyk, P.T. (2021). Physical activity behaviours in adolescence: current evidence and opportunities for intervention. *Lancet*, 398(10298), 429–442, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01259-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01259-9).
- WHO (2018). *Globalny plan działania w zakresie aktywności fizycznej na lata 2018–2030: więcej aktywnych ludzi dla zdrowszego świata*. Genewa. Pobrano: 10.02.2026 z: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514187>
- WHO (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*.
- Wojtoszek, K. (2023). Zrozumieć pokolenie Z. [W:] L. Kowalczyk, F. Mroczo (red.), *Pedagogika, zarządzanie, psychologia i inżynieria zarządzania wobec wyzwań współczesności. Relacje i interdyscyplinarność wyzwaniem współczesności*. Tom 53 (ss. 173–179). Prace Naukowe WSZiP w Wałbrzychu.
- Yadav, P.G., Rai, J. (2017). The generation Z and their social media usage: a review and a research outline. *Global Journal of Enterprise Information System*, 9(2), 110, <https://doi.org/10.18311/gjeis/2017/15748>.

ABSTRACT

Role of social media in motivating physical activity among adolescents and young adults from Generation Z

Introduction. The study was designed to assess the level of physical activity among adolescents and young adults from Generation Z and to determine the role of social media in encouraging this group to undertake physical activity. **Material.** A total of 110 individuals (91 female and 19 male), aged between 15 and 29 years, took part in the study. **Methods.** Data were collected using a self-developed questionnaire and the abridged Polish version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), which includes seven questions addressing all types of physical activity associated with everyday life, work and leisure time. **Results.** The average level of physical activity, as determined using the IPAQ, was 2239.5 ± 276.4 MET-min/week. High levels of physical activity were most common among both women (46.2%) and men (47.3%). Furthermore, 81.3% of women and 57.9% of men reported engaging in physical activity under the influence of content shared on social media. **Conclusions.** The study population was characterised by a predominance of high physical activity levels. Content shared on social media may act as a motivating factor for engaging in physical activity among individuals from Generation Z, particularly on platforms such as Instagram and TikTok. In order to effectively engage Generation Z, physical activity promotion campaigns should be designed in a clear and straightforward manner. **Keywords:** physical activity, IPAQ, Generation Z, social media, motivation

FRYDERYK GAJDZIK

Wydział Mechaniczny, Politechnika Wrocławska

HYBRYDOWA METODA DETEKCJI POBUDZEŃ EKTOPOWYCH W ZAPISIE EKG JAKO NARZĘDZIE WSPOMAGAJĄCE PRZESIEWOWĄ IDENTYFIKACJĘ ARYTMI

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było opracowanie hybrydowego algorytmu wykrywania pobudzeń ektopowych i anomalii rytmu w sygnale EKG, z naciskiem na potencjalne zastosowanie przesiewowe oraz odporność na zmienność między pacjentami i artefakty rejestracyjne. **Materiał.** Walidację przeprowadzono na publicznie dostępnej bazie MIT-BIH Arrhythmia Database. Analizie poddano 48 zapisów EKG. **Metody.** W opracowanym algorytmie połączono ocenę morfologii pobudzenia względem indywidualnie wyznaczanego szablonu referencyjnego z analizą korelacyjną, ocenę lokalnych statystyk odstępów RR umożliwiającą pomiar odstępów pobudzeń serca w czasie, a także bramkowanie jakości sygnału z wykorzystaniem wskaźnika jakości (ang. *signal quality index*, SQI) ograniczające analizę do odcinków o odpowiedniej wiarygodności. Skuteczność działania oceniano z użyciem czułości opisywanej jako stosunek liczby trafień (ang. *true positive*, TP) do sumy trafień i zdarzeń niewykrytych (ang. *false negative*, FN). Miara ta opisuje zdolność algorytmu do wykrywania rzeczywistych zdarzeń dodatnich. Wykorzystano również dodatnią wartość predykcijną (ang. *positive predictive value*, PPV), która określa odsetek poprawnych detekcji wśród wszystkich detekcji dodatnich i definiowana jest jako stosunek liczby trafień do sumy trafień i fałszywych alarmów. **Wyniki.** W mikroagregacji dla wykrywania pobudzeń komorowych uzyskano czułość 0,914 oraz PPV 0,456, natomiast dla pobudzeń mieszanych czułość 0,763 oraz PPV 0,455. W analizie rekordowej stwierdzono znaczny rozrzut wyników, zwłaszcza w zakresie PPV. **Wnioski.** Opracowana metoda wykazuje wysoką czułość w wykrywaniu pobudzeń komorowych, co wskazuje na jej potencjał w zastosowaniach przesiewowych. Ograniczeniem pozostaje umiarkowana precyzja oraz duża zmienność wyników między zapisami, zwłaszcza w kontekście liczby fałszywych alarmów w zapisach prawidłowych.

Słowa kluczowe: EKG, pobudzenia ektopowe, detekcja arytmii, MIT-BIH

WPROWADZENIE

Zaburzenia rytmu serca stanowią istotny problem kliniczny ze względu na związek z ryzykiem powikłań sercowo-naczyniowych oraz wpływ na jakość życia pacjentów (Hindricks i wsp., 2021). Szczególne znaczenie mają pobudzenia ektopowe, zarówno pobudzenia komorowe (ang. *premature ventricular contractions*, PVC), jak i nadkomorowe (ang. *premature atrial*

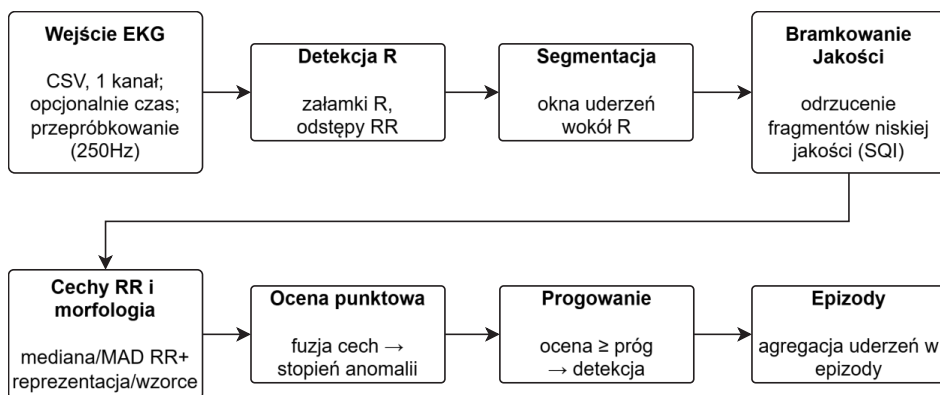
contractions, PAC), które mogą pełnić rolę markerów zwiększonego ryzyka bardziej złożonych arytmii lub współistniejącej patologii serca. W praktyce diagnostycznej długotrwałe monitorowanie EKG generuje duże wolumeny danych, których ręczna analiza jest czasochłonna i obciążona zmęczeniem obserwatora. Sygnał ambulatoryjny charakteryzuje się znaczną zmiennością osobniczą (morfologia załamków QRS, rytm pracy serca), obecnością artefaktów ruchowych oraz zmienną jakością rejestracji. W konsekwencji klasyczne metody regułowe oraz modele uczone na uśrednionej populacji mogą generować podwyższoną liczbę fałszywych alarmów lub tracić czułość w trudnych warunkach. W tym kontekście zasadne jest łączenie informacji o rytmie serca i morfologii zespołów PQRST z mechanizmami kontroli jakości sygnału, tak aby decyzje diagnostycznie istotne były podejmowane przede wszystkim na podstawie wiarygodnych fragmentów zapisu.

CEL BADAŃ

Celem badań było opracowanie oraz ilościowa ocena algorytmu automatycznej detekcji pobudzeń ektopowych i anomalii rytmu serca w jednokanałowym zapisie EKG. Algorytm zaprojektowano do klasyfikacji zdarzeń w ujęciu beat-by-beat w dwóch zadaniach detekcyjnych: komorowym (*ventricular*) oraz rozszerzonym (*mixed ectopy*). Skuteczność rozwiązania zweryfikowano na bazie MIT-BIH Arrhythmia Database (Moody i Mark, 2001), która jest publicznie dostępną referencyjną bazą danych elektrokardiograficznych zawierającą zapisy EKG wraz z ręcznymi adnotacjami ekspertów dotyczącymi występowania i typu zaburzeń rytmu serca. Zastosowano dopasowanie czasowe detekcji do adnotacji referencyjnych.

MATERIAŁ I METODY

Danymi wejściowymi do systemu są próbki jednokanałowego sygnału EKG w postaci amplitudy. Sygnał zostaje następnie przeskalowany do docelowej częstotliwości próbkowania, która domyślnie wynosi 250 Hz. Ujednolicenie częstotliwości próbkowania f_s jest kluczowe dla utrzymania stabilności kolejnych etapów przetwarzania sygnału, których parametry zależą od skali czasu. Dane wejściowe stanowią ciąg próbek sygnału EKG. W związku z tym pipeline przetwarzania, czyli sekwencja kolejnych etapów jego analizy (ryc. 1), którym poddawane są dane, zakłada jego względną



Rycina 1. Schemat blokowy pipeline'u algorytmu

ciągłość w analizowanym odcinku. Sygnał może być zapisany zarówno w jednostkach fizjologicznych, takich jak mV, jak i w skali surowej: jednostki przetwornika analogowo cyfrowego (ang. *analog-to-digital converter*, ADC). Pipeline wykorzystuje odporne normalizacje [mediana/media-nowe odchylenie bezwzględne (ang. *median absolute deviation*, MAD)], dzięki czemu nie wymaga bezwzględnej kalibracji amplitudy do mV, niemniej jednak zakłócenia pomiarowe mogą znacząco obniżać wskaźnik jakości sygnału (ang. *signal quality index*, SQI) (Clifford i wsp., 2012) i zakłócać ocenę morfologii pobudzeń, co ostatecznie wpływa na liczbę fałszywych alarmów oraz wykrywalność zdarzeń.

Metody

Algorytm najpierw klasyfikuje pojedyncze pobudzenia, a następnie łączy wykryte nieprawidłowości w ciągłe odcinki czasowe odpowiadające epizodom arytmii.

Detekcja zespołów QRS stanowi etap krytyczny, determinujący wiarygodność cech rytmu oraz analizy morfologii. W badaniach zastosowano detektor Pan-Tompkins (Pan i Tompkins, 1985) z filtrowaniem pasmowo-przepustowym 5–15 Hz oraz oknem całkowania 150 ms. Detektor zwraca wektor czasów, na podstawie którego obliczane są odstępy między kolejnymi załamkami R (odstęp RR).

W celu ograniczenia wpływu zakłóceń na analizę zastosowano wskaźnik jakości sygnału SQI wyznaczany w 5-sekundowych oknach czasowych. SQI opisuje wiarygodność danego fragmentu EKG w skali [0,1], gdzie

wartości bliskie 1 odpowiadają sygnałowi o dobrej jakości, a wartości bliskie 0 odcinkom silnie zdegradowanym artefaktami.

Ocena jakości opierała się na czterech typowych klasach zaburzeń: dryfie linii bazowej identyfikowanym jako nadmierna energia bardzo niskich częstotliwości, zakłóceniach wysokoczęstotliwościowych (ang. *high-frequency* HF) typowych dla szumu mięśniowego, odcinkach płaskiej linii sugerujących utratę sygnału i nasycenie sygnału. Dla każdej składowej wyznaczano znormalizowaną karę w zakresie 0–1, a następnie łączono je w jeden wynik, przy czym największy wpływ miały odcinki odpowiadające utracie sygnału.

Wynik końcowy definiowano jako dopełnienie ważonej sumy kar:

$$SQI = 1,0 - (0,25 \cdot P_{baseline} + 0,25 \cdot P_{HF} + 0,30 \cdot P_{flat} + 0,20 \cdot P_{clip}),$$

gdzie $P_{baseline}$, P_{HF} , P_{flat} oraz P_{clip} oznaczają znormalizowane miary (kary) odpowiadające odpowiednio: dryftowi linii bazowej, zakłóceniom wysokoczęstotliwościowym, płaskiej linii oraz nasyceniu sygnału. Wartość SQI przypisywano do pobudzeń na podstawie okna obejmującego chwilę detekcji załamka R. Pobudzenia o $SQI < 0,4$ uznawano za niewiarygodne i wyłączano z dalszej analizy morfologicznej oraz detekcji arytmii, co ograniczało generowanie fałszywych alarmów na odcinkach zaszumionych.

Dla każdego wykrytego załamka R wycinano fragment sygnału EKG w stałym oknie czasowym obejmującym 250 ms przed szczytem R oraz 450 ms po szczycie R. Tak zdefiniowane segmenty reprezentowały pojedyncze pobudzenia i stanowiły podstawę dalszej analizy morfologii. W celu uzyskania referencyjnego wzorca morfologii dla danego rekordu wyznaczano szablon w sposób statyczny. Do jego budowy wybierano wyłącznie pobudzenia o akceptowalnej jakości sygnału oraz bez oznak zaburzeń rytmu. Takie podejście zmniejsza ryzyko „zanieczyszczenia” szablonu przez pobudzenia ektopowe, zwłaszcza w zapisach z częstymi nieprawidłowościami. Podobieństwo morfologiczne oceniano poprzez porównanie segmentu pobudzenia z szablonem. Następnie podobieństwo przekształcano do wyniku anomalii kształtu w skali [0,1], gdzie 0 oznacza zgodność z wzorcem, a 1 istotne odstępstwo:

$$score_{shape,i} = \text{clip} \left(\frac{0,95 - sim_i}{0,15}, 0, 1 \right)$$

gdzie sim_i jest podobieństwem cosinusowym dla i -tego pobudzenia. W sekwencji $sim_i \geq 0,95$ odpowiada $score_{shape,i} = 0$ (brak anomalii kształtu), natomiast $sim_i \leq 0,80$ daje $score_{shape,i} = 1$ (silna anomalia). Taka parametryzacja pozwala zachować tolerancję na niewielką zmienność morfologii i szum, jednocześnie wyraźnie wyróżniając pobudzenia istotnie odmienne.

Dodatkowo w celu automatycznego uczenia reprezentacji morfologii pobudzeń zastosowano podejście samonadzorowane (ang. *self-supervised learning*) z wykorzystaniem jednowymiarowej konwolucyjnej sieci neuronowej (ang. *convolutional neural network*, CNN). Wektory cech uzyskane w tym procesie grupowano metodą HDBSCAN, co umożliwiło identyfikację podobnych wzorców morfologicznych bez użycia etykiet (McInnes i wsp., 2017). Zastosowano podejście kontrastowe SimCLR (Chen i wsp., 2020), w którym model jest uczony poprzez porównywanie par przykładów. Dla tego samego pobudzenia generowano jego różne przekształcenia (np. z dodatkiem szumu lub niewielkim przesunięciem w czasie) traktowane jako pary pozytywne, natomiast różne pobudzenia traktowano jako pary negatywne. Celem uczenia było uzyskanie reprezentacji, w której podobne pobudzenia mają zbliżone wektory cech, a różne pobudzenia są od siebie oddalone w przestrzeni cech. Efektem było wyznaczenie wektorów cech dla każdego uderzenia, które potem można było użyć jako zwięzły opis morfologii załamekłów wykorzystany w obliczaniu *final score* przy decyzji binarnej.

Na podstawie sekwencji odstępów RR obliczano lokalne statystyki rytmu w przesuwającym się oknie zawierającym 20 pobudzeń. Aby ograniczyć wpływ naturalnej zmienności i trendów, wykorzystano medianę kroczącą oraz MAD, a odchylenie od tła rytmu wyrażano odpornym *Z-score*:

$$z = \frac{RR - \text{median}(RR)}{\sigma}, \sigma = 1,4826 \cdot \text{MAD}$$

Odporne oszacowanie skali wyznaczano jako σ , gdzie 1,4826 jest współczynnikiem normalizującym, zapewniającym zgodność estymatora z odchyleniem standardowym w modelu normalnym (Rousseeuw i Hubert, 2018).

Dla każdego pobudzenia wyznaczano znormalizowany wskaźnik podejrzenia nieprawidłowości w skali [0,1] w trzech komplementarnych osiach: morfologicznej oraz dwóch rytmicznych. Składowa morfologiczna (ang. *score vent*) odzwierciedlała stopień odejścia kształtu pobudzenia od wzorca referencyjnego dla danego zapisu i była dodatkowo wzmacniana

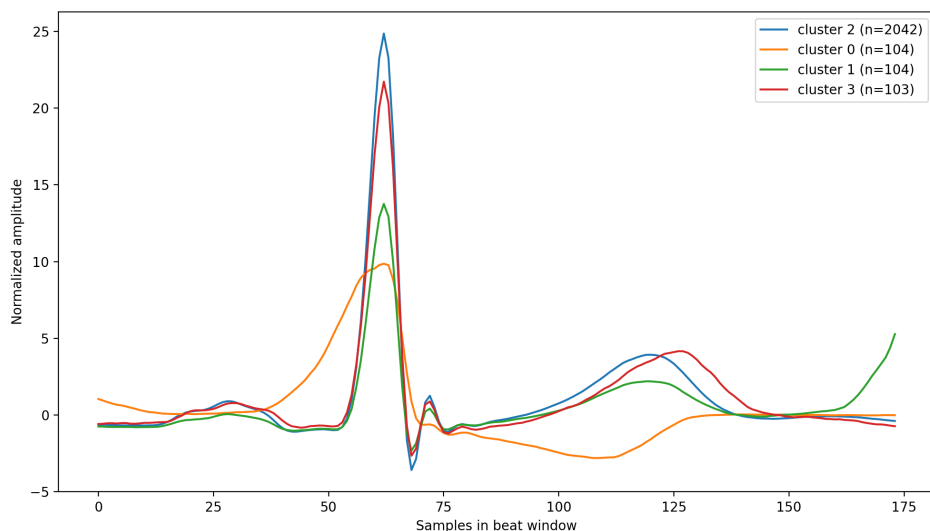
w przypadku wystąpienia przerwy wyrównawczej po pobudzeniu. Składowe rytmiczne obejmowały miarę przedwczesności (ang. *score supra*), zależną od skrócenia odstępu RR poprzedzającego pobudzenie, oraz miarę pauzy (ang. *score escape*) związaną z wydłużeniem odstępu RR poprzedzającego pobudzenie. Wynik złożony definiowano jako:

$$final_score = \max(score_supra, score_escape, score_vent)$$

Pobudzenie uznawano za podejrzanę po przekroczeniu ustalonego progu decyzyjnego *final score* ustalonego empirycznie na wąskim zbiorze pięciu pomiarów. Dodatkowo stosowano niezależne kryterium wykrywania wyraźnych odstępstw morfologicznych, z progiem wyznaczanym adaptacyjnie dla danego zapisu na podstawie fragmentów o wiarygodnej jakości sygnału.

Działanie algorytmu

W celu zilustrowania działania pełnego procesu przetwarzania przedstawiono przykład analizy pojedynczego zapisu EKG. Materiał obejmował sygnał jednokanałowy pochodzący z nagrania MIT-BIH. Sygnał poddano ujednoliceniu częstotliwości próbkowania do 250 Hz. Po detekcji załamków R i segmentacji okien pobudzeń wyznaczono reprezentacje morfolo-

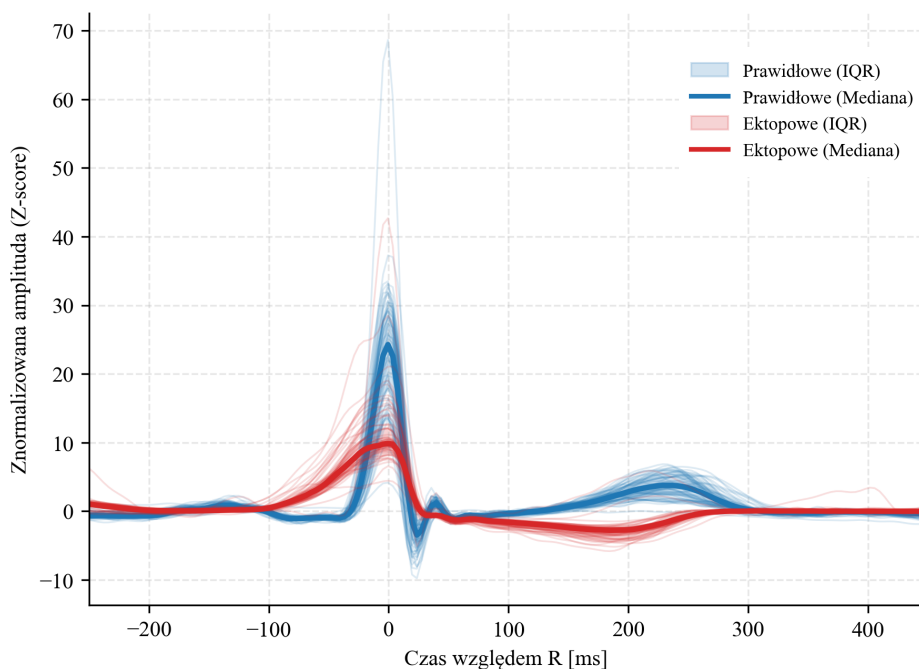


Rycina 2. Prototypy klastrów w przestrzeni okna pobudzenia

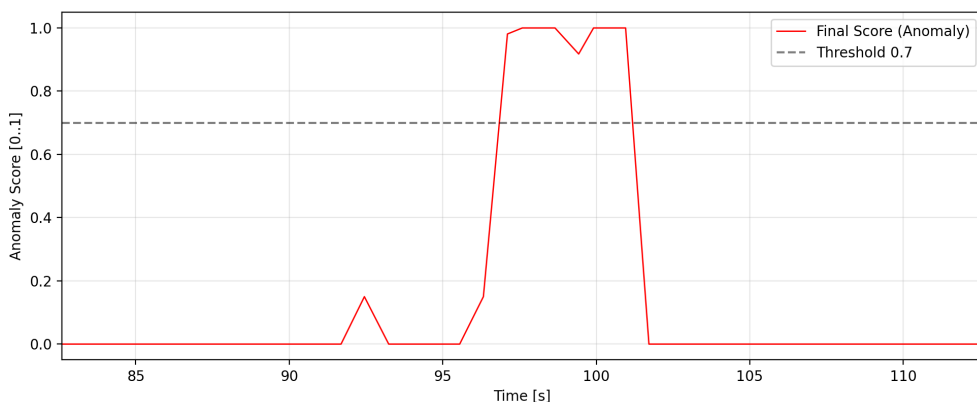
giczne, które następnie zredukowano do dwóch wymiarów metodą UMAP (McInnes i wsp., 2018). Rycina 2 zawiera prototypy klastrów zdefiniowane jako mediana przebiegu pobudzenia w danym klastrze (ang. *median beat*), co umożliwia porównanie typowych kształtów QRS/T pomiędzy grupami morfologicznymi.

W celu zilustrowania różnic morfologicznych pomiędzy pobudzeniami prawidłowymi a ektopowymi przedstawiono nałożone przebiegi okien QRS zsynchronizowane względem załamka R. Krzywe mediany oraz pasma rozstępu międzykwantylowego (ang. *interquartile range*, *IQR*), widoczne na rycinie 3, pokazują typowy kształt i zmienność w obu grupach. Amplitudę przedstawiono po normalizacji (*z-score*), aby uwypuklić różnice kształtu niezależnie od skali sygnału.

Na rycinie 4 przedstawiono przebieg wyników w czasie dla wybranego fragmentu zapisu. Dolny panel prezentuje końcowy wynik punktowy (ang. *final score*) w skali [0,1] wraz z zaznaczonym progiem decyzyjnym (0,7). Wizualizacja ta ilustruje przejście od poziomu pojedynczych pobudeń (klastry, scoring) do decyzji o obecności odcinka o podwyższonej anomalii w badanym fragmencie sygnału.



Rycina 3. Porównanie morfologii QRS w oknach zsynchronizowanych względem R: pobudzenia prawidłowe i ektopowe



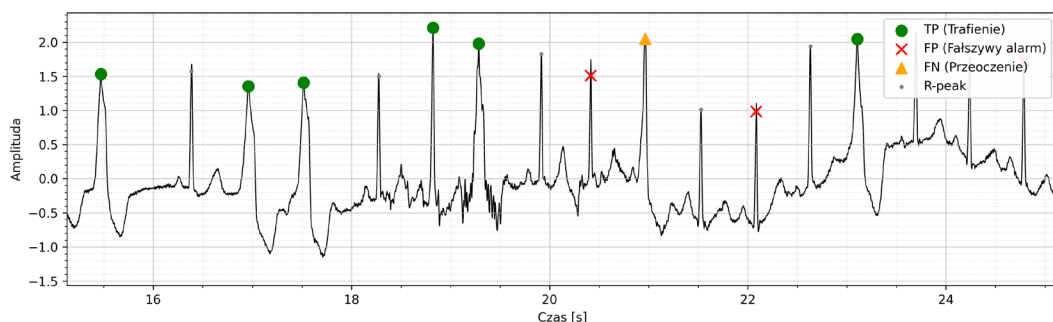
Rycina 4. Wyniki algorytmu w funkcji czasu dla wybranego fragmentu zapisu, końcowy wynik punktowy (*final score*) wraz z progiem decyzyjnym

Procedura ewaluacji i metryki

Wynik algorytmu dla każdego pobudzenia był sprowadzany do decyzji binarnej (zdarzenie wykryte/niewykryte) na podstawie ustalonego progu decyzyjnego. Następnie momenty detekcji porównywano z adnotacjami referencyjnymi ekspertów zawartymi w bazie MIT-BIH, uznając detekcję za trafną, jeśli wystąpiła w zadanej tolerancji czasowej względem oznaczonego zdarzenia. Zastosowano dopasowanie jednoznaczne, gdzie jedna detekcja mogła zostać przypisana maksymalnie do jednej adnotacji. Dopasowanie predykcji do adnotacji referencyjnych (ang. *ground truth*, GT) wykonano z tolerancją czasową 0,10 s dla zadania *vent* oraz 0,12 s dla zadania *mix*. Predykcję uznawano za trafienie (ang. *true positive*, TP), jeżeli w oknie istniała adnotacja dodatnia i nie została ona wcześniej przypisana do innej predykcji (dopasowanie 1:1). Predykcje bez dopasowanej adnotacji klasyfikowano jako fałszywy alarm (ang. *false positive*, FP), natomiast adnotacje bez dopasowanej predykcji jako zdarzenie niewykryte (ang. *false negative*, FN). Miary skuteczności:

$$PPV = \frac{TP}{TP + FP} \quad \text{Czułość} = \frac{TP}{TP + FN} \quad F1 = \frac{2 \cdot PPV \cdot \text{Czułość}}{PPV + \text{Czułość}}$$

Wyniki są raportowane globalnie oraz w ujęciu rekordowym. Rekordy z GT = 0 (brak zdarzeń dodatnich) raportowano oddzielnie, ponieważ Czułość i F1 nie niosą tam standardowej interpretacji. W celu zilustrowania działania owej procedury na rycinie 5 przedstawiono fragment pomiaru wraz z odpowiednio oznaczonymi szczytami R.



Rycina 5. Fragment pomiaru MIT-BIH 208 z zaznaczonymi R-peakami i oznaczeniami TP/FP/FN

W analizie skuteczności algorytmu rozpatrzono dwa odrębne zadania detekcyjne: *vent* oraz *mix*. Różnią się one zakresem klasy pozytywnej oraz charakterem wykorzystywanych cech decyzyjnych. Zadanie *vent* obejmuje detekcję wyłącznie ektopii komorowej. Do klasy pozytywnej zaliczono pobudzenia oznaczone symbolami: *V* (przedwczesne pobudzenie komorowe, PVC), *E* (pobudzenie zastępcze komorowe) oraz *F* (pobudzenie zsumowane). Wszystkie pozostałe pobudzenia traktowane są jako klasa negatywna. Predykcja w tym zadaniu opiera się przede wszystkim na analizie morfologii zespołu QRS, zwłaszcza na korelacji badanego pobudzenia z indywidualnym szablonem pacjenta. Dodatkowo może być uwzględniana informacja rytmiczna, np. obecność przerwy wyrównawczej. Zadanie to pozwala ocenić zdolność algorytmu do wykrywania klasycznych arytmii komorowych przy jednoczesnym ignorowaniu zaburzeń nadkomorowych.

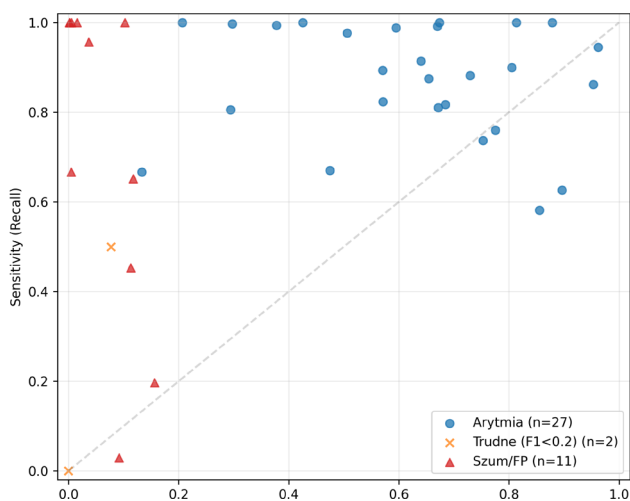
Zadanie *mix* stanowi rozszerzenie klasyfikacji na wszystkie typy ektopii, zarówno komorowe, jak i nadkomorowe. Oprócz symboli uwzględnionych w zadaniu *vent* do klasy pozytywnej zaliczono również pobudzenia nadkomorowe, takie jak: *A* (przedwczesne pobudzenie przedsionkowe, PAC), *a* (pobudzenie przedsionkowe aberracyjne), *J* (pobudzenie węzłowe) oraz *S* (inne przedwczesne pobudzenia nadkomorowe).

W tym przypadku decyzja klasyfikacyjna opiera się na połączeniu kilku mechanizmów detekcyjnych obejmujących zarówno analizę morfologii zespołu QRS, jak i analizę cech rytmicznych oraz czasowych. W praktyce predykcja stanowi maksimum z kilku ocen cząstkowych odpowiadających różnym typom zaburzeń.

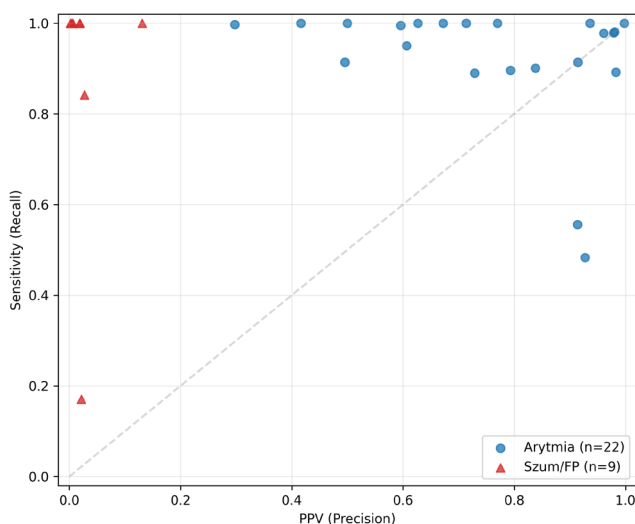
WYNIKI

Zadanie *mix* umożliwia ocenę systemu jako ogólnego detektora anomalii w monitorowaniu sygnału EKG, odzwierciedlając bardziej realistyczny scenariusz kliniczny, w którym istotne jest wykrycie wszelkich nieprawidłowych pobudzeń.

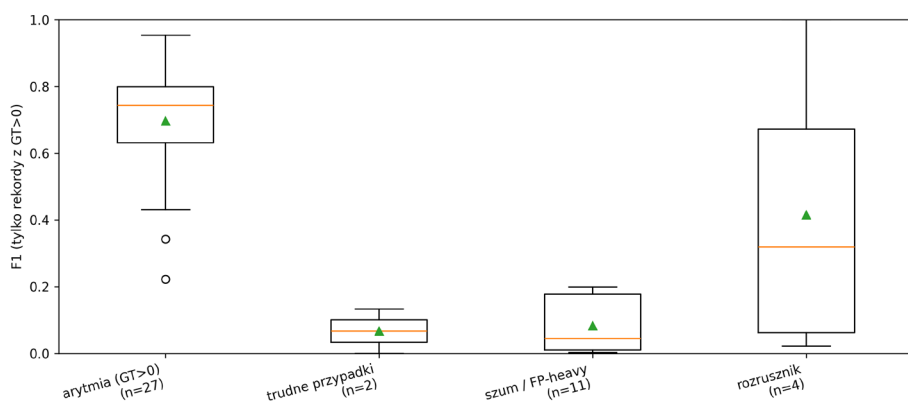
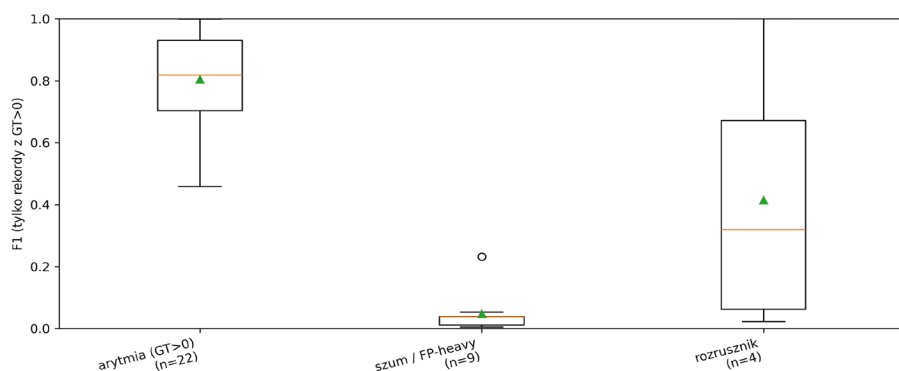
Zależności pomiędzy dodatnią wartością predykcyjną a czułością w ujęciu rekordowym dla zadań *mix* i *vent* przedstawiono odpowiednio na rycinach 6 i 7. W obu przypadkach widoczny rozrzut punktów wska-



Rycina 6. Zależność między PPV a czułością w ujęciu rekordowym *mix* (A–F)



Rycina 7. Zależność między PPV a czułością w ujęciu rekordowym *vent* (V, E, F)

Rycina 8. Rozkład wartości F1-score dla *mix* (A–F)Rycina 9. Rozkład wartości F1-score dla *vent* (V, E, F)

zuje na istotną zmienność skuteczności algorytmu pomiędzy poszczególnymi zapisami, obejmując zarówno przypadki o wysokiej wykrywalności i precyzji, jak i zapisy trudne, charakteryzujące się obniżonymi wartościami jednej z metryk. Rozkłady wartości miary F1-score dla zadań *mix* oraz *vent*, zaprezentowane na rycinach 8 i 9, potwierdzają tę obserwację, wskazując na wyraźne różnice w skuteczności działania algorytmu w zależności od charakterystyki analizowanego zapisu, zwłaszcza obecności arytmii, szumu oraz artefaktów.

Wyniki globalne dla obu zadań zestawiono w tabeli 1. Wynik globalny (mikroagregacja) obliczano przez sumowanie TP, FP oraz FN po wszystkich rekordach, a następnie wyznaczenie metryk. Zmienność między zapisami (makro), widoczna w tabeli 2, przedstawiono jako medianę oraz przedział międzykwantylowy [Q1–Q3] metryk liczonych osobno dla każdego rekordu, traktując każdy zapis równoważnie. W części makro uwzględ-

Tabela 1. Podsumowanie skuteczności detekcji dla wyników globalnych (mikroagregacji) ($n = 48$)

Zadanie	TP	FP	FN	PPV	Czułość
<i>vent</i>	6774	8086	638	0,456	0,914
<i>mix</i>	7689	9192	2390	0,455	0,763

TP – liczba trafień, FP – liczba fałszywie dodatnich detekcji

FN – liczba niewykrytych zdarzeń, PPV – dodatnia wartość predykcyjna

Tabela 2. Podsumowanie skuteczności detekcji zmienności między zapisami (makro, $GT > 0$), mediana [IQR]

Zadanie	PPV	Czułość	F1
<i>vent</i>	0,606 [0,033–0,914]	1,000 [0,914–1,000]	0,691 [0,064–0,869]
<i>mix</i>	0,450 [0,100–0,696]	0,907 [0,720–1,000]	0,580 [0,164–0,750]

PPV – dodatnia wartość predykcyjna, F1 – miara jakości klasyfikacji

Tabela 3. Częstość fałszywych alarmów w rekordach zdrowych

Zadanie	Fałszywe alarmy / 1000 pobudzeń
<i>mix</i> (A–F)	16,6
<i>vent</i> (V, E, F)	75,8

niono wyłącznie rekordy z obecnością zdarzeń dodatnich ($GT > 0$): 35/48 dla zadania *vent* oraz 44/48 dla zadania *mix*. W rekordach z $GT > 0$, w których algorytm nie zgłosił żadnej detekcji ($TP + FP = 0$), PPV nie jest formalnie zdefiniowane i przyjęto konserwatywnie $PPV = 0$, traktując brak detekcji jako pełną porażkę w zapisie zawierającym zdarzenia. Zmienność działania algorytmu między zapisami oceniono w ujęciu rekordowym z rozróżnieniem przypadków: $GT = 0$, $GT > 0$, $PRED = 0$.

W tabeli 3 przedstawiono częstość fałszywych alarmów w zapisach zdrowych wyrażoną jako liczba zdarzeń na 1000 pobudzeń. Ponieważ w tych zapisach nie występują zdarzenia dodatnie ($GT = 0$), każda predykcja pozytywna jest fałszywym alarmem ($TP = 0$, zatem $PRED = FP$). W zadaniu *mix* uzyskano 16,6 fałszywych alarmów na 1000 pobudzeń, natomiast w zadaniu *vent* 75,8 na 1000 pobudzeń, co wskazuje na wyższą skłonność do alarmowania w konfiguracji *vent* przy braku rzeczywistych zdarzeń patologicznych.

DYSKUSJA

Obserwowana zmienność skuteczności między rekordami jest typowa dla algorytmów analizujących EKG w warunkach ambulatoryjnych i może wynikać z kilku niezależnych czynników. Istotne są różnice osobnicze oraz rekordowe w morfologii zespołów QRS, w tym obecność pobudzeń o nietypowym kształcie, które mogą odbiegać od dominującego wzorca w danym zapisie. Wyniki są wrażliwe na nierównowagę klas: w wielu zapisach liczba zdarzeń dodatnich jest niewielka, przez co pojedyncze detekcje mogą istotnie zmieniać metryki w ujęciu rekordowym. W interpretacji wyników istotne jest jawne rozróżnienie przypadków $GT = 0$ oraz $GT > 0$. Rekordy bez zdarzeń dodatnich mogą pozornie faworyzować niektóre miary (np. brak fałszywych alarmów), a jednocześnie są szczególnie wrażliwe na pojedyncze detekcje fałszywie dodatnich, które w praktyce klinicznej przekładają się na obciążenie alarmami. Z tego względu raportowanie wyników w podziale na te przypadki poprawia przejrzystość oceny oraz ułatwia porównania między metodami. Parametryzacja progu decyzyjnego determinuje relację pomiędzy wykrywalnością zdarzeń a liczbą fałszywie dodatnich alarmów, dlatego wyniki należy interpretować w kontekście docelowego scenariusza użycia. W zastosowaniach przesiewowych zwykle preferuje się konfiguracje nastawione na większą wykrywalność, akceptując większą liczbę alarmów, natomiast w monitorowaniu alarmowym preferowane są ustawienia ograniczające liczbę niepotrzebnych alertów w celu zmniejszenia obciążenia personelu. Z perspektywy wdrożeniowej użyteczne jest raportowanie charakterystyki działania algorytmu w funkcji progu dla obu rozpatrywanych zadań.

OGRANICZENIA

Istotnym ograniczeniem walidacji jest charakter bazy MIT-BIH: stanowi ona zasób referencyjny, jednak nie odzwierciedla w pełni warunków pomiaru powszechnymi urządzeniami jednokanałowymi. Wdrożenie w praktyce klinicznej wymaga walidacji na danych docelowych, najlepiej z różnych ośrodków i populacji, z jednoznaczną definicją punktów końcowych oraz analizą klinicznej użyteczności.

WNIOSKI

Opracowano hybrydowy algorytm detekcji pobudzeń ektopowych w EKG łączący ocenę morfologii względem rekordowo wyznaczanego szablону z kontekstem rytmicznym oraz bramkowaniem jakości sygnału. Walidacja na MIT-BIH ($n = 48$) wykazała, że metoda osiąga wysoką wykrywalność w zadaniu *vent* (czułość 0,914 w mikroagregacji), jednak przy umiarkowanej precyzji (PPV = 0,456). Dla zadania *mix* uzyskano PPV = 0,455 oraz czułość 0,763. Kluczową obserwacją jest szeroka zmienność wyników między rekordami: w ujęciu makro ($GT > 0$) mediana PPV dla *vent* wynosi 0,606, ale rozrzut jest bardzo duży (IQR 0,033–0,914), a dla *mix* 0,450 (0,100–0,696), co wskazuje na silną zależność działania algorytmu od konkretnego zapisu (morfologia, jakość rejestracji, częstość zdarzeń). W zapisach zdrowych ($GT = 0$) każda predykcja dodatnia jest fałszywym alarmem, a częstość tych alarmów wynosi 16,6/1000 pobudzeń dla *mix* oraz 75,8/1000 dla *vent*, co stanowi istotne ograniczenie dla zastosowań alarmowych. W obecnej konfiguracji algorytm może być traktowany jako narzędzie wspomagające analizę przesiewową, natomiast w przypadku zastosowań wymagających niskiej liczby alertów będzie potrzebna dalsza optymalizacja, m.in. strojenie progu decyzyjnego i redukcja FP. Interpretacja wyników powinna uwzględniać przypadki $GT = 0$ oraz sytuacje $PRED = 0$ w zapisach z $GT > 0$, ponieważ istotnie wpływają one na metryki rekordowe i ich porównywalność.

BIBLIOGRAFIA

- Chen, T., Kornblith, S., Norouzi, M., Hinton, G. (2020). A simple framework for contrastive learning of visual representations. [W:] *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning* (ss. 1597–1607), <https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.05709>.
- Clifford, G., Behar, J., Li, Q., Rezek, I. (2012). Signal quality indices and data fusion for determining clinical acceptability of electrocardiograms. *Physiological Measurement*, 33(9), 1419–1433, <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/9/1419>.
- Hindricks, G., Potpara, T., Dagres, N., Arbelo, E., Bax, J.J., Blomström-Lundqvist, C., Boriani, G., Castella, M., Dan, G.-A., Dilaveris, P. E., Fauchier, L., Filippatos, G., Kalman, J.M., La Meir, M., Lane, D.A., Lebeau, J.-P., Lettino, M., Lip, G.Y.H., Pinto, F.J., Thomas, G.N., Valgimigli, M., Van Gelder, I.C., Van Putte, B.P., Watkins, C.L. (2021). 2020 ESC Guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the EACTS. *European Heart Journal*, 42(5), 373–498, <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612>.

- McInnes, L., Healy, J., Astels, S. (2017). HDBSCAN: hierarchical density based clustering. *Journal of Open Source Software*, 2(11), 205, <https://doi.org/10.21105/joss.00205>.
- McInnes, L., Healy, J., Saul, N., Großberger, L. (2018). UMAP: Uniform Manifold Approximation and Projection. *Journal of Open Source Software*, 3(29), 861, <https://doi.org/10.21105/joss.00861>.
- Moody, G., Mark, R. (2001). The impact of the MIT-BIH arrhythmia database. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 20(3), 45–50, <https://doi.org/10.1109/51.932724>.
- Pan, J., Tompkins, W. (1985). A real-time QRS detection algorithm. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 32(3), 230–236, <https://doi.org/10.1109/TBME.1985.325532>.
- Rousseeuw, P., Hubert, M. (2018). Anomaly detection by robust statistics. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 8(2), e1236, <https://doi.org/10.1002/widm.1236>.

ABSTRACT

A hybrid method for detecting ectopic beats in ecg recordings
as a tool supporting screening identification of arrhythmias

Introduction. This study was designed to develop a hybrid algorithm for the detection of ectopic beats and rhythm anomalies in ECG signals, with an emphasis on screening applicability, and resilience to inter-individual variability and recording artefacts. **Material.** Validation was conducted using the publicly available MIT-BIH Arrhythmia Database, with 48 ECG recordings included in the analysis. **Methods.** The proposed algorithm combined assessment of beat morphology relative to an individually derived reference template with correlation-based analysis, as well as evaluation of local RR interval statistics, enabling temporal analysis of cardiac cycle intervals. In addition, signal quality gating was implemented using a signal quality index (SQI), restricting the analysis to segments of sufficient reliability. Algorithm performance was assessed using sensitivity, defined as the ratio of true positives (TP) to the sum of true positives and false negatives (FN), reflecting the algorithm's ability to detect true positives. Positive predictive value (PPV) was also used, defined as the proportion of correct detections among all positive detections, calculated as the ratio of true positives to the sum of true positives and false positives. **Results.** In a micro-averaged analysis, ventricular ectopic beat detection achieved a sensitivity of 0.914 and a PPV of 0.456, while for mixed ectopic beats, the sensitivity was 0.763 and the PPV 0.455. Record-based analysis revealed considerable variability in results, particularly in terms of PPV. **Conclusions.** The proposed method demonstrates high sensitivity in detecting ventricular ectopic beats, a fact that suggests its potential for screening applications. Nevertheless, its performance is limited by moderate precision and marked inter-record variability, particularly due to false positive detections in normal recordings.

Keywords: ECG, ectopic beats, arrhythmia detection, MIT-BIH

NADIA KOPER¹, ANDRZEJ SAMOŁYK², WŁODZIMIERZ WIĄZEK²,
RAFAŁ SZAFRANIEC³

¹ Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego
im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

² Zakład Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wojsk Lądowych
im. gen. Tadeusza Kościuszki we Wrocławiu

³ Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

SKUTECZNOŚĆ TRENINGU FUNKCJONALNEGO O WYSOKIEJ INTENSYWNOŚCI W KSZTAŁTOWANIU SPRAWNOŚCI FIZYCZNEJ ŻOŁNIERZY – BADANIA WSTĘPNE

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy wprowadzenie elementów treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności do szkolenia podstawowego żołnierzy przyczyni się do zwiększenia ich sprawności fizycznej w porównaniu z tradycyjnym treningiem. **Materiał.** Badaniami objęto 56 mężczyzn w wieku 19–37 lat uczestniczących w szkoleniu podstawowym żołnierzy Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej. Badani zostali podzieleni na dwie grupy treningowe: grupę HIFT, do której włączono 27 osób realizujących zajęcia z wychowania fizycznego w oparciu o trening funkcjonalny o wysokiej intensywności (ang. *high intensity functional training*, HIFT) i grupę SP, do której zakwalifikowano 29 osób objętych zajęciami prowadzonymi zgodnie z wytycznymi zawartymi w „Programie szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych RP”. **Metody.** W pierwszym i ostatnim tygodniu szkolenia oceniano sprawność fizyczną testami: podciąganie siłowe na drążku, skłony tułowia z leżenia tyłem, bieg na dystansie 3000 m, bieg wahadłowy 10 × 10 m. **Wyniki.** Badani z obu grup istotnie poprawili swoje wyniki w testach sprawności fizycznej ($p < 0,05$). Istotnie większą poprawę odnotowano w grupie HIFT w podciąganiu się na drążku ($p = 0,024$), teście wahadłowym ($p = 0,002$) i biegu na dystansie 3000 m ($p = 0,003$). **Wnioski.** Program kształtowania sprawności fizycznej oparty na treningu funkcjonalnym o wysokiej intensywności (HIFT) można uznać za skuteczniejszy od treningu tradycyjnie stosowanego w szkoleniu podstawowym żołnierzy. Wyniki należy traktować jako wstępne i interpretować z ostrożnością. **Słowa kluczowe:** wychowanie fizyczne, przygotowanie motoryczne, wojsko, testy sprawnościowe

WPROWADZENIE

Przygotowanie do służby wojskowej w ramach „Programu szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej” (Wychowanie Fizyczne i Sport w Resorcie Obrony Narodowej, DU-7.4. Warszawa 2025) obejmuje zajęcia z wychowania fizycznego, w tym atletykę terenową, gim-

nastykę, ćwiczenia siłowe oraz walkę wręcz. W trakcie zajęć realizowane są takie formy aktywności, jak marszobiegi, ćwiczenia ogólnorozwojowe w terenie oraz kształtujące wytrzymałość biegową (atletyka terenowa), trening ogólnorozwojowy (gimnastyka i ćwiczenia siłowe) oraz podstawy walki wręcz.

Od współczesnego żołnierza oczekuje się szerokiego zakresu sprawności fizycznej, co wynika z zadań stawianych podczas walki, która wymusza bardzo wysoki poziom siły i mocy mięśni oraz wydolności beztlenowej i tlenowej (Friedl i wsp., 2015; Helen i wsp., 2023; Kraemer i Szivak, 2012). Szkolenie podstawowe żołnierzy koncentruje się głównie na treningu aerobowym, a tylko w niewielkim stopniu na treningu siłowym. Duża liczba jednostek treningowych o charakterze wytrzymałościowym może podczas tak ukierunkowanego szkolenia zaburzać przyrost siły mięśniowej (Kyröläinen i wsp., 2018), dlatego podejmowane są działania mające na celu opracowanie optymalnych strategii kształtowania sprawności fizycznej żołnierzy (Helen i wsp., 2023).

Wysoki poziom sprawności fizycznej żołnierzy jest kluczowy nie tylko dla ich zdrowia, ale również dla skutecznego realizowania zadań wojskowych i zapobiegania urazom, a co za tym idzie – także minimalizowania liczby odejść ze służby. Knapik i wsp. (2017) wykazali, że żołnierze charakteryzujący się wyższym poziomem sprawności fizycznej o wiele lepiej radzą sobie w symulowanych lub rzeczywistych zadaniach wojskowych oraz że osoby, które wstępując do wojska, są mniej sprawne fizycznie, są też bardziej podatne na urazy i częściej odchodzą ze służby na jej wczesnym etapie. Obniżony poziom sprawności fizycznej wśród osób aplikujących do czynnej służby wojskowej negatywnie rzutuje na właściwy rozwój ich fizycznej gotowości bojowej oraz stwarza ryzyko urazów i kontuzji w trakcie szkolenia. Powszechny problem z funkcjonalną sprawnością motoryczną wynika częściowo z pogłębiającego się w ostatnich latach spadku aktywności fizycznej związanego ze zdrowiem oraz aktywności fizycznej w dzieciństwie i okresie dojrzewania (Kyröläinen i wsp., 2018; Silvey i wsp., 2021). Aby nadrobić te deficyty, należy poszukiwać efektywnych metod treningowych, które powinny być ukierunkowane na kształtowanie funkcjonalnych wzorców ruchowych i charakteryzować się wysoką intensywnością. Oba te elementy łączy w sobie trening funkcjonalny o wysokiej intensywności (ang. *high intensity functional training*, HIFT), który bazuje na ćwiczeniach wielostawowych angażujących całe ciało, ukierunkowanych na poprawę mocy, siły, ale także wydolności tlenowej (Chizewski

i wsp., 2021; Koźlenia i wsp., 2024). Wykonuje się je w ograniczonym czasie lub w seriach o konkretnej liczbie powtórzeń, wplatając między serie przerwy służące regeneracji (Murawska-Ciałowicz i wsp. 2021). Chociaż skuteczność treningu HIFT została potwierdzona w badaniach prowadzonych na różnych populacjach (Chizewski i wsp., 2021; Koźlenia i wsp., 2024; Rivas-Campo i wsp., 2023; Wang i wsp., 2023), autorzy niniejszej pracy nie znaleźli, jak dotąd, opracowań, w których HIFT zostałby porównany z treningiem tradycyjnym stosowanym w szkoleniu wojskowym w Siłach Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej.

CEL BADAŃ

Celem badań było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, czy uzupełnienie szkolenia podstawowego żołnierzy o elementy treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności przyniesie lepsze efekty w zakresie zwiększenia sprawności fizycznej w porównaniu z tradycyjnym treningiem.

Postawiono hipotezę, że włączenie elementów treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności do szkolenia podstawowego żołnierzy przyczyni się do większego wzrostu sprawności fizycznej w porównaniu z obecnie stosowanymi formami treningu fizycznego.

MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

Badaniami objęto 56 mężczyzn w wieku 19–37 lat, uczestników „Programu szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej” (2025). Badani zostali podzieleni na dwie grupy treningowe. Jedną grupę stanowiło 27 osób realizujących zajęcia z wychowania fizycznego bazujące na treningu funkcjonalnym o wysokiej intensywności (grupa HIFT), drugą grupę tworzyło 29 mężczyzn biorących udział w zajęciach z wychowania fizycznego zgodnie z wytycznymi zawartymi w Programie (grupa SP). Podstawową charakterystykę wieku i parametrów antropometrycznych badanych osób przedstawiono w tabeli 1.

Wszystkie badane osoby zostały szczegółowo poinformowane o przebiegu eksperymentu i udzieliły pisemnej zgody na wzięcie w nim udziału (zgoda zawierała klauzulę informującą badanych o możliwości rezygnacji z badań na każdym ich etapie bez podawania przyczyny).

Tabela 1. Podstawowa charakterystyka antropometryczna i wiek badanych

Parametr	Ogółem (<i>n</i> = 56) $\bar{x} \pm SD$	Grupa HIFT (<i>n</i> = 27) $\bar{x} \pm SD$	Grupa SP (<i>n</i> = 29) $\bar{x} \pm SD$
Wiek (lata)	23,4 ± 3,8	22,9 ± 3,7	23,9 ± 3,8
Wysokość ciała (cm)	179,3 ± 6,0	179,7 ± 5,9	178,9 ± 6,2
Masa ciała (kg)	78,5 ± 11,4	76,3 ± 12,4	80,5 ± 10,0
BMI (kg/m ²)	24,5 ± 3,7	26,3 ± 3,4	25,3 ± 3,9

BMI – wskaźnik masy ciała (ang. *body mass index*)

Przebieg badań

Szkolenie trwało cztery tygodnie. W tym czasie Badani uczestniczyli w zajęciach z wychowania fizycznego (16 godzin), a także w innych zajęciach, w trakcie których podejmowali aktywność fizyczną (m.in. nauka marszu i biegu, musztra zespołowa, techniki i działania taktyczne, szkolenie inżynieryjno-saperskie, terenoznawstwo).

W pierwszym i ostatnim tygodniu szkolenia podstawowego badani zostali poddani sprawdzianowi sprawności fizycznej z wychowania fizycznego składającego się z czterech testów oceniających wybrane zdolności motoryczne: siłę mięśni obręczy barkowej i ramion (podciąganie siłowe na drążku wysokim), siłę mięśni brzucha (skłony tułowia z leżenia tyłem), wytrzymałość (bieg na dystansie 3000 m), szybkość, koordynację i zwinność (bieg wahadłowy 10 × 10 m).

W okresie szkolenia podstawowego każda grupa treningowa zrealizowała w sumie 16 godzin zajęć z wychowania fizycznego, z czego 4 godziny wykorzystano na przeprowadzenie sprawdzianów sprawności fizycznej (po 2 godziny w pierwszym i ostatnim tygodniu badań). Zajęcia w grupie SP (12 godzin) opierały się w całości na wytycznych zawartych w „Programie szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej” i obejmowały aktywności związane z atletyką terenową (6 godzin), gimnastyką i ćwiczeniami siłowymi (4 godziny) oraz walką wręcz (2 godziny). Grupa HIFT realizowała zmodyfikowany program zajęć z wychowania fizycznego. Zamiast zajęć z atletyki terenowej i specjalistycznych ćwiczeń na torach przeszkód, a także gimnastyki i ćwiczeń siłowych, badani zostali poddani treningowi funkcjonalnemu o wysokiej intensywności (HIFT). Trening ukierunkowano na jednoczesne ćwiczenia siłowe i wytrzymałościowe ze szczególnym naciskiem na ruchy funkcjonalne, wielostawowe,

które można dostosować do każdego poziomu sprawności ćwiczących i które angażują większą liczbę mięśni niż ćwiczenia tradycyjne. Wprowadzono różnorodne formy ćwiczeń, w tym ćwiczenia monostrukturalne (np. bieganie, wiosłowanie na ergometrze) oraz ćwiczenia z wykorzystaniem własnej masy ciała (np. przysiady, pompki, podciąganie na drążku, wyskoki) i dodatkowego obciążenia w postaci worków z piaskiem, lin i odważników kulowych (np. rwanie, wyciskanie, martwy ciąg, wymachy, wchodzenie na linę). Trening był prowadzony w taki sposób, aby żołnierze mogli dostosowywać indywidualnie intensywność ćwiczeń, dzięki czemu można było zapewnić odpowiedni bodziec treningowy, niezależnie od początkowego poziomu sprawności osoby badanej.

W trakcie całego szkolenia podstawowego grupa HIFT zrealizowała 10 godzin (5 sesji) treningu funkcjonalnego o wysokiej intensywności. Każda sesja treningowa trwała 90 min i składała się z czterech części: rozgrzewki, części siłowo-technicznej, właściwego treningu funkcjonalnego oraz części końcowej. Trening HIFT nie opiera się na sztywnym schemacie, według którego określa się obciążenie pracą. Kluczowym parametrem nie jest liczba serii, lecz gęstość treningowa (ilość pracy wykonanej w jednostce czasu). Sztywne przerwy wypoczynkowe są zastępowane przez takie formaty, jak AMRAP (tyle rund, ile jest w stanie wykonać ćwiczący) czy FOR TIME (zadanie na czas). Taka struktura pozwala na indywidualizowanie intensywności – czas odpoczynku jest dyktowany aktualną wydolnością ćwiczącego (tzw. autoregulacja) (Feito i wsp., 2018).

Sesje treningowe rozpoczynały się standardową rozgrzewką obejmującą krótkie ćwiczenia aerobowe o niskiej intensywności, rozciąganie dynamiczne i ćwiczenia wzmacniające mięśnie głębokie (stabilizujące). Następnie badany przechodził do części siłowo-technicznej, w czasie której wykonywał 3–6 serii ćwiczeń siłowych (1–3). Liczba powtórzeń w serii wahała się w granicach 4–15, różne były też okresy odpoczynku między seriami (30 s – 3 min). Badany miał za zadanie dobierać takie obciążenie, aby osiągnąć maksymalną pracę mięśni w każdej serii. Kolejnym etapem sesji był właściwy trening HIFT. Rodzaj ćwiczeń, ich intensywność i czas trwania był różny w każdej sesji. Długość treningu HIFT zwiększano progresywnie w każdej kolejnej jednostce treningowej (w pierwszej sesji trwał on 10 min i wydłużał się o 5 min w kolejnych zajęciach). Przykładowo, badany miał do zrealizowania 25-minutowy trening obwodowy składający się z 8 odcinków biegu wahadłowego (1 odcinek = $2 \times 7,5$ m), 2 wejść na linę (5,6 m), 12 przeskoków przez skrzynię (45 cm) oraz 9 wymachów odważnikiem kulowym (16–32 kg). Jego celem było ukończenie w zadanym

czasie jak największej liczby rund. W części końcowej sesji stosowano ćwiczenia wyciszające i rozciąganie statyczne.

Sprawdzian sprawności fizycznej z wychowania fizycznego

Sprawdzian sprawności fizycznej składał się z czterech prób, które zostały szczegółowo opisane w „Programie szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej” (2025) oraz w dokumencie „Wychowanie Fizyczne i Sport w Resorcie Obrony Narodowej” (2025).

1. Podciąganie siłowe na drążku wysokim. Badany wykonuje zwis nachwytem o wyprostowanych stawach łokciowych (postawa wyjściowa). Na komendę „ćwicz” podciąga się tak, aby broda znalazła się powyżej drążka, a następnie wraca do postawy wyjściowej. Celem jest wykonanie jak największej liczby powtórzeń.
2. Skłony tułowia z leżenia tyłem w czasie 2 min. Na komendę „gotów” badany przyjmuje postawę leżąc tyłem z palcami rąk splecionymi i ułożonymi z tyłu głowy, ramiona dotykają materaca, nogi zgięte w stawach kolanowych (maksymalnie do kąta prostego), stopy rozstawione na szerokość bioder (mogą być przytrzymywane przez współćwiczącego lub zaczepione o dolny szczebel drabinki). Na komendę „ćwicz” badany wykonuje skłon w przód z jednoczesnym dotknięciem łokciami kolan i natychmiast powraca do leżenia, tak aby umożliwić splecionym palcom na głowie kontakt z podłożem. Celem jest wykonanie jak największej liczby powtórzeń w ciągu 2 min.
3. Bieg wahadłowy 10 × 10 m. Na komendę „start” badany rozpoczyna bieg w kierunku przeciwległej chorągiewki, obiega ją, wraca do chorągiewki na linii startu i również ją obiega. Pokonuje tę trasę pięciokrotnie. Przewrócenie chorągiewki skutkuje powtórzeniem próby (jeden raz). Czas mierzy się z dokładnością do 0,1 s od sygnału startu do momentu przekroczenia linii mety.
4. Bieg na dystansie 3000 m. Na komendę „na miejsce” badany podchodzi do linii startu. Na komendę „gotów” przyjmuje postawę startową, a na sygnał „start” rozpoczyna bieg. Czas mierzy się z dokładnością do 1 s.

Analiza statystyczna

Do analizy statystycznej wykorzystano program Statistica 13.3 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). Dla każdej zmiennej obliczono statystyki opi-

sowe, w tym wartości średnie ($\bar{x}$), odchylenia standardowe (SD) i 95% przedziały ufności (CI). Zgodność danych z rozkładem normalnym oceniono testem Shapiro–Wilka. Wyniki sprawdzianu sprawności fizycznej nie były zgodne z rozkładem normalnym, więc do ich analizy zastosowano statystyki nieparametryczne. W celu porównania wyników przed interwencją i po jej zakończeniu posłużono się testem Wilcoxon, natomiast porównania procentowych delt wyników między grupami dokonano za pomocą testu Manna–Whitneya lub t -Studenta dla prób niezależnych. Przyjęty poziom istotności statystycznej wynosił $\alpha < 0,05$.

WYNIKI

W obu badanych grupach zaobserwowano istotną poprawę ($p < 0,001$) w próbie podciągania siłowego na drążku wysokim oraz w biegu wahałowym 10×10 m i biegu na dystansie 3000 m (tab. 2). Poprawiły się też wyniki próby polegającej na skłonach tułowia z leżenia tyłem (w grupie HIFT $p < 0,001$, w grupie SP $p = 0,002$).

W obu grupach stwierdzono poprawę w zakresie sprawności fizycznej badanych, dlatego w celu porównania wielkości poprawy między grupami wyliczono procentowe wartości zmiany (Δ) wyników dla każdej grupy, a następnie porównano je za pomocą odpowiedniego testu dla prób niezależnych (tab. 3). Badani z grupy HIFT charakteryzowali się istotnie większą poprawą niż osoby z grupy SP w podciąganiu na drążku ($p = 0,024$),

Tabela 2. Porównanie wyników testów sprawności fizycznej obu badanych grup na początku i końcu szkolenia

Zmienna	Grupa HIFT ($n = 27$)			Grupa SP ($n = 29$)		
	$\bar{x} \pm SD$ (95% CI)			$\bar{x} \pm SD$ (95% CI)		
	przed	po	p	przed	po	p
Podciąganie (powtórzenia)	$7,4 \pm 5,1$ (5,4–9,5)	$14,3 \pm 8,4$ (10,9–17,6)	$< 0,001$	$6,4 \pm 4,2$ (4,8–8,0)	$8,8 \pm 5,5$ (6,7–10,8)	$< 0,001$
Skłony tułowia (powtórzenia)	$57,4 \pm 10,0$ (53,4–61,4)	$71,4 \pm 10,5$ (67,3–75,5)	$< 0,001$	$51,3 \pm 10,2$ (47,5–55,2)	$58,4 \pm 6,3$ (56,0–60,8)	0,002
10×10 m (s)	$31,0 \pm 1,3$ (30,5–31,5)	$29,2 \pm 0,8$ (28,9–29,5)	$< 0,001$	$31,9 \pm 1,9$ (31,2–32,6)	$30,8 \pm 1,0$ (30,4–31,1)	$< 0,001$
3000 m (s)	$896,3 \pm 123,8$ (847,4–945,3)	$775,0 \pm 65,9$ (748,9–801,1)	$< 0,001$	$879,8 \pm 123,6$ (832,7– 926,8)	$813,9 \pm 76,9$ (784,6–843,1)	$< 0,001$

p – poziom istotności statystycznej testu Wilcoxon

Tabela 3. Procentowe zmiany (Δ) wyników testów sprawności fizycznej po interwencji w obu badanych grupach

Zmienna	Grupa HIFT (<i>n</i> = 27)	Grupa SP (<i>n</i> = 29)	<i>p</i>
	$\bar{x} \pm SD$ (95% CI)		
Podciąganie	161,3 ± 191,2 (85,6–236,9)	70,9 ± 93,6 (35,3–106,5)	0,024 [#]
Sklony tułowia	26,3 ± 18,3 (19,1–33,6)	18,6 ± 30,1 (7,2–30,1)	0,073
10 × 10 m	–5,7 ± 2,8 (–6,8 do –4,6)	–3,4 ± 5,7 (–5,5 do –1,2)	0,002 [#]
3000 m	–12,9 ± 5,9 (–15,2 do –10,5)	–6,6 ± 8,8 (–10,0 do –3,3)	0,003 [*]

* poziom istotności statystycznej testu t -Studenta dla prób niezależnych[#] poziom istotności statystycznej testu Manna–Whitneya

teście wahadłowym 10 $\times$ 10 m ($p = 0,002$) i biegu na dystansie 3000 m ($p = 0,003$) (tab. 3). W przypadku skłonów tułowia różnica ta była bliska granicy istotności statystycznej ($p = 0,073$) na korzyść grupy HIFT.

DYSKUSJA

Celem badań było porównanie dwóch realizowanych w środowisku ograniczonym czasem, przestrzenią i dostępnym sprzętem protokołów przygotowania fizycznego żołnierzy opracowanych z myślą o poprawieniu ich wydolności, siły i zwinności ocenianych za pomocą standardowych testów wykorzystywanych w Siłach Zbrojnych RP. Na podstawie analizy danych można było zauważyć, że po okresie 4 tygodni treningu realizowanego w trakcie szkolenia podstawowego żołnierzy obie badane grupy istotnie statystycznie poprawiły swoje wyniki we wszystkich testach sprawnościowych, w porównaniu z wynikami uzyskanymi przed rozpoczęciem badań. Podobne wyniki odnotowali Helen i wsp., 2023 oraz Newman i wsp., 2022, którzy zaobserwowali znaczący wzrost sprawności fizycznej żołnierzy, zarówno po standardowym treningu przygotowania podstawowego, jak i po treningu HIFT. Porównanie obu zastosowanych programów treningowych pozwoliło wskazać na przewagę treningu HIFT nad tradycyjnym szkoleniem żołnierzy, co jest zgodne z wynikami badań własnych.

Nie potwierdziły się spostrzeżenia innych badaczy (Burley i wsp., 2018; Pihlainen i wsp., 2020) dotyczące większej poprawy sprawności fizycznej u osób rozpoczynających treningi z niższego poziomu przygotowania fizycznego. W badaniach własnych żołnierze z grupy HIFT, mimo że w pomiarach początkowych uzyskali lepsze wyniki w próbach polegających na biegu 10 × 10 m, skłonach tułowia i podciąganiu się na drążku, to dodatkowo osiągnęli większy progres po szkoleniu w porównaniu z badanymi z grupy SP. Pozwala to zakładać, że nawet krótkotrwały, odpowiednio ukierunkowany trening HIFT jest skuteczny w kształtowaniu sprawności fizycznej żołnierzy. W przypadku badań własnych szkolenie trwało jedynie cztery tygodnie, natomiast u Newman i wsp. (2022) oraz Helen i wsp. (2023) było to odpowiednio 10 i 19 tygodni. Mimo mniejszej liczby jednostek treningowych oraz znacznie krótszego czasu szkolenia oba protokoły szkoleniowe przyniosły poprawę wyników i zgodnie z hipotezą grupa HIFT osiągnęła większy progres w porównaniu z grupą SP.

Istotnie statystycznie większa poprawa sprawności fizycznej badanych z grupy HIFT w porównaniu z żołnierzami z grupy SP (tab. 3) może po części wynikać z odpowiedniego przygotowania personelu prowadzącego zajęcia. Należyte ich przeszkolenie i szczegółowe zaznajomienie z zasadami prowadzenia sesji treningowych mogło przełożyć się na poziom adaptacji treningowej w grupie HIFT. Podobne zależności zaobserwowali Helen i wsp. (2023) oraz Roos i wsp. (2015), którzy wykazali, że na poprawę sprawności fizycznej uczestników szkolenia podstawowego znaczący wpływ ma profesjonalne przygotowanie i przeszkolenie nauczycieli wychowania fizycznego czy instruktorów wojskowych. Dodatkowo, badani z grupy HIFT byli nieustannie zachęcani do maksymalnego zaangażowania w trakcie ćwiczeń, tak aby mogli zrealizować trening z wysoką intensywnością. Nie oceniano jednak i nie kontrolowano rzeczywistej intensywności treningu podczas sesji treningowych (np. używanych ciężarów, tętna czy odczuwanego wysiłku). Całkowite obciążenie treningowe i pożądany progres intensywności mogły się zatem w pewnym stopniu różnić między uczestnikami. Może to wyjaśniać znaczną zmienność międzyosobniczą w zakresie wyników.

Programy szkolenia wojskowego w zakresie sprawności fizycznej żołnierzy wymagają jak największej indywidualizacji i periodyzacji w odniesieniu do planowanych zadań wojskowych (trening fizyczny powinien być dostosowany do konkretnego zadania) i uwzględniania poziomu aktywności i/lub sprawności fizycznej oraz wskaźnika masy ciała rekrutów. Pod-

sumowując, optymalne i progresywne programy szkoleniowe przyczyniają się do poprawy reakcji treningowych żołnierzy, a także zmniejszają ryzyko urazów i przeciążeń (Santtila i wsp., 2015). W dalszych badaniach wskazane jest wydłużenie czasu treningów, a także przeprowadzenie obiektywnej oceny ich intensywności i wielkości obciążeń treningowych. Warto też objąć analizą wyjściowy poziom funkcjonalnych kompetencji motorycznych badanych osób oraz monitorować przyczyny ewentualnych kontuzji.

OGRANICZENIA

Ograniczeniem badań był brak monitoringu intensywności ćwiczeń.

WNIOSKI

Programy kształtowania sprawności fizycznej prowadzone w oparciu o trening funkcjonalny o wysokiej intensywności (HIFT), nawet w tak ograniczonym przedziale czasowym, są bardziej skuteczniejsze w porównaniu od stosowanego w szkoleniu podstawowym żołnierzy treningu tradycyjnego. Po treningu HIFT zaobserwowano istotnie większą poprawę w zakresie wszystkich przeprowadzanych testów sprawnościowych. Wyniki badań należy traktować jako wstępne i interpretować z ostrożnością. Zaleca się ich kontynuowanie.

BIBLIOGRAFIA

- Burley, S.D., Drain, J.R., Sampson, J.A., Groeller, H. (2018). Positive, limited and negative responders: the variability in physical fitness adaptation to basic military training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(11), 1168–1172, <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.018>.
- Chizewski, A., Box, A., Kesler, R.M., Petruzzello, S.J. (2021). High intensity functional training (HIFT) improves fitness in recruit firefighters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(24), 13400, <https://doi.org/10.3390/ijerph182413400>.
- Feito, Y., Heinrich, K.M., Butcher, S.J., Poston W.S.C. (2018). High-Intensity functional training (hifit): definition and research implications for improved fitness. *Sports*, 6(3), 76, <https://doi.org/10.3390/sports6030076>.
- Friedl, K.E., Knapik, J.J., Häkkinen, K., Baumgartner, N., Groeller, H., Taylor, N.A., Duarte, A.F.A., Kyröläinen, H., Jones, B.H., Kraemer, W.J., Nindl, B.C. (2015). Perspectives on aerobic and strength influences on military physical readiness: report of an international military physiology roundtable. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2(supl. 11)9, 10–23, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001025>.

- Helen, J., Kyröläinen, H., Ojanen, T., Pihlainen, K., Santtila, M., Heikkinen, R., Vaara, J.P. (2023). High-intensity functional training induces superior training adaptations compared with traditional military physical training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 37(12), 2477–2483, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004559>.
- Knapik, J.J., Sharp M.A., Steelman, R.A. (2017). Secular trends in the physical fitness of united states army recruits on entry to service. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 2030–2052, <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001928>.
- Koźlenia, D., Popowczak, M., Szafraniec, R., Alvarez, C., Domaradzki, J. (2024). Changes in muscle mass and strength in adolescents following high-intensity functional training with bodyweight resistance exercises in physical education lessons. *Journal of Clinical Medicine*, 13(12), 3400, <https://doi.org/10.3390/jcm13123400>.
- Kraemer, W.J., Szivak, T.K. (2012). Strength training for the warfighter. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(supl. 2), 107–118, <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825d8263>.
- Kyröläinen, H., Pihlainen, K., Vaara, J.P., Ojanen, T., Santtila, M. (2018). Optimising training adaptations and performance in military environment. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(11), 1131–1138, <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.11.019>.
- Murawska-Ciałowicz, E., Gomes de Assis, G., Clemente, F.M., Feito, Y., Stastny, P., Zuwała-Jagiełło, J., Bibrowicz, B., Wolański, P. (2021). Effect of four different forms of high intensity training on BDNF response to Wingate and Graded Exercise Test. *Scientific Reports*, 11, 8599, 2, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88069-Y>.
- Newman, A., Armonda, A., Braun, B. (2022). Evaluation of two training programs designed to enhance performance on the army combat fitness test among ROTC cadets. *Military Medicine*, 187(9–10), 1030–1036, <https://doi.org/10.1093/milmed/usac015>.
- Pihlainen, K., Vaara, J., Ojanen, T., Santtila, M., Vasankari, T., Tokola, K., Kyröläinen, H. (2020). Effects of baseline fitness and BMI levels on changes in physical fitness during military service. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(9), 841–845, <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.02.006>.
- Program szkolenia podstawowego Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej – Edycja 2025 [Dokument dostępny w sieciach wewnętrznych Wojska Polskiego oraz w dokumentacji jednostek wojskowych].
- Rivas-Campo, Y., Aibar-Almazán, A., Afanador-Restrepo, T.F., García-Garro, P.A., Vega-Ávila, G.C., Rodríguez-López, C., Castellote-Caballero, Y., Carcelén-Fraile, M.C., Lavilla-Lerma, M.L. (2023). Effect of high-intensity functional training (HIFT) on the functional capacity, frailty, and physical condition of older adults with mild cognitive impairment: a blind randomized controlled clinical trial. *Life*, 13(5), 1224, <https://doi.org/10.3390/life13051224>.
- Roos, L., Hofstetter, M.C., Mäder, U., Wyss, T. (2015). Training methods and training instructors' qualification are related to recruits' fitness develop-

- ment during basic military training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(supl. 11), 178–186, <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001106>.
- Santtila, M., Pihlainen, K., Viskari, J., Kyröläinen, H. (2015). Optimal physical training during military basic training period. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11S), 154–157, <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000001035>.
- Silvey, K., Porter, J., Sacko, R.S., Hand, A.F., Terlizzi, B.M., Abrams, T.C., Stodden, D.F. (2021). The potential role of functional motor competence to promote physical military readiness: a developmental perspective. *Military Medicine*, 186(9–10), 242–247, <https://doi.org/10.1093/milmed/usab043>.
- Wang, X., Soh, K.G., Samsudin, S., Deng, N., Liu, X., Zhao, Y., Akbar, S. (2023). Effects of high-intensity functional training on physical fitness and sport-specific performance among the athletes: a systematic review with meta-analysis. *PLOS ONE*, 8(12), e0295531, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295531>.
- Wychowanie Fizyczne i Sport w Resorcie Obrony Narodowej, DU-7.4. Warszawa 2025.

ABSTRACT

Effectiveness of high-intensity functional training in developing physical fitness in soldiers: a preliminary study

Introduction. The study was designed to determine whether incorporating elements of high-intensity functional training (HIFT) into basic military training would lead to improvements in soldiers' physical fitness compared with traditional training. **Material.** A total of 56 male participants aged between 19 and 37 years, enrolled in basic training in the Polish Armed Forces, were included in the study. The participants were assigned to two training groups: the HIFT group with 27 individuals, engaged in high-intensity functional training as part of their physical education, and the SP group, with 29 individuals, who completed training in line with the 'Basic Training Programme of the Polish Armed Forces'. **Methods.** Physical fitness was assessed in the first and final week of training using the following tests: pull-ups, sit-ups from a supine position, a 3000 m run and a 10 × 10 m shuttle run. **Results.** Participants in both groups showed significant improvements in physical fitness test performance ($p < 0.05$). However, significantly greater improvements were observed in the HIFT group in pull-ups ($p = 0.024$), the shuttle run ($p = 0.002$) and the 3000 m run ($p = 0.003$). **Conclusions.** A physical fitness training programme based on high-intensity functional training (HIFT) can be considered more effective than the traditional training used in basic military training. Nevertheless, the findings should be regarded as preliminary and interpreted with caution.

Keywords: physical education, physical conditioning, military, fitness testing

ANTONI KRUPA, ALEKSANDRA SUTKOWSKA, EDYTA PIENIACKA

Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

ROLA PROMOCJI CENOWYCH I OFERT TYPU *LAST MINUTE* W PROCESIE DECYZYJNYM STUDENTÓW NA RYNKU USŁUG TURYSTYCZNYCH – ANALIZA EMPIRYCZNA

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była identyfikacja wpływu instrumentów cenowych, zwłaszcza promocji i ofert typu *last minute*, na proces decyzyjny studentów na rynku usług turystycznych. **Materiał.** Badania przeprowadzono na próbie 165 studentów polskich uczelni wyższych (66,1% kobiet i 33,9% mężczyzn). Dominującą grupę stanowiły osoby deklarujące dobrą sytuację materialną (50,9%) oraz preferujące samodzielną organizację wyjazdów (61,82%). **Metody.** Posłużono się metodą sondażu diagnostycznego (CAWI). **Wyniki.** W hierarchii czynników decyzyjnych najważniejsza dla badanych okazała się atrakcyjność lokalizacji (4,23%), która nieznacznie wyprzedziła cenę całkowitą wyjazdu (4,08%) oraz bezpieczeństwo (3,81%). Najniżej oceniono standard zakwaterowania (3,12%), co świadczy o skłonności studentów do kompromisu jakościowego. Wykazano istotne statystycznie różnice we wrażliwości cenowej ze względu na płeć ($p < 0,01$). W grupie kobiet blisko 50% respondentek zadeklarowało, że promocje mają na ich decyzje wpływ „raczej silny” (40,37%) lub „decydujący” (9,17%), wśród mężczyzn co czwarty badany (25%) wskazał na brak istotnego wpływu tych bodźców. Potwierdzono również silną korelację ($p = 0,0032$) między korzystaniem z ofert *last minute* a skracaniem czasu rezerwacji. **Wnioski.** Współczesnego studenta można nazwać turystycznym „smart shopperem”, który dysponując najczęściej budżetem 1000–2000 zł (33,33% wskazań), optymalizuje koszty, nie rezygnując z wymarzonych kierunków podróży. **Słowa kluczowe:** zachowania konsumenckie, rynek turystyczny, promocje cenowe, *last minute*, proces decyzyjny

WPROWADZENIE

Współczesny rynek usług turystycznych charakteryzuje się niezwykle dynamiczną zmianą, wynikającą zarówno z postępu technologicznego, jak i ewoluujących modeli zachowań konsumenckich. Proces podejmowania decyzji o zakupie produktu turystycznego jest zjawiskiem wielowymiarowym i złożonym, co w literaturze przedmiotu obrazują liczne modele teoretyczne, w tym klasyczny model Engela–Kollata–Blackwella (Moroz, 2008). Wskazują one, że na ostateczny wybór destynacji wpływa szereg zmien-

nych – od czynników psychologicznych, przez społeczne, aż po ekonomiczne. Wśród tych ostatnich cena oraz dostępność ofert promocyjnych odgrywają rolę kluczową, zwłaszcza w kontekście segmentów rynku o ograniczonej sile nabywczej.

Szczególną grupę konsumentką na rynku turystycznym stanowi młodzież akademicka. Specyfika studentów jako segmentu wynika z unikalnej relacji między zasobami czasu a zasobami finansowymi: są to osoby zazwyczaj dysponujące dużą ilością czasu wolnego i mające silną motywację do eksploracji świata, lecz jednocześnie posiadające ograniczony budżet. W literaturze przedmiotu współcześni studenci, będący przedstawicielami pokolenia Z, są określani mianem „łowców internetowych okazji” (Cheng i wsp., 2021). Jako „cyfrowi tubylcy” (ang. *digital natives*) posiadają wysokie kompetencje w zakresie wykorzystywania nowych technologii do optymalizacji kosztów podróży, świadomie wyszukując ofert typu *last minute* oraz promocji dystrybuowanych kanałami elektronicznymi (Konieczna i Trybuś-Borowiecka, 2025).

Sytuacja ekonomiczna studentów sprawia, że wykazują oni szczególną wrażliwość na cenę i podatność na okazje rynkowe, co czyni ich idealnym obiektem badań w kontekście elastyczności popytu turystycznego. Istotnym problemem badawczym staje się zatem ustalenie, czy i w jakim stopniu czynnik ekonomiczny jest w stanie zdominować inne preferencje. W dotychczasowym dyskursie naukowym można dostrzec w tym obszarze wyraźne sprzeczności. Z jednej strony badacze podkreślają niemal całkowitą dominację u młodych konsumentów kryterium ceny podczas wyboru wycieczki, z drugiej zaś obszernie badania nad zachowaniami przestrzennymi młodzieży dowodzą, że pokolenie Z coraz częściej odrzuca kompromisy w kwestii jakości i bezpieczeństwa, przedkładając unikalność doświadczenia turystycznego oraz tzw. *value for money* nad samą nominalną obniżkę cenową (European Travel Commission, 2020). Brak spójności badawczej ukazuje istotną lukę poznawczą – nie zbadano dotąd wyczerpująco granicy, po przekroczenie której niska cena przestaje w oczach polskiego studenta rekompensować spadek standardu. Należy zatem sprawdzić, czy pod wpływem niskiej ceny studenci są rzeczywiście skłonni do substytucji pierwotnie wybranego kierunku lub obniżenia standardu podróży na rzecz tańszej alternatywy. Wiąże się to bezpośrednio z analizą, czy oferty typu *last minute* realnie stymulują impulsywne decyzje zakupowe i zmieniają plany wyjazdowe młodych ludzi.

CEL BADAŃ

Celem badań była identyfikacja instrumentów cenowych, zwłaszcza promocji i ofert typu *last minute*, na proces decyzyjny studentów na rynku usług turystycznych. W szczególności poszukiwano odpowiedzi na następujące pytania badawcze:

- Jaka jest hierarchia ważności czynników determinujących wybór oferty turystycznej przez studentów (cena vs lokalizacja vs standard)?
- Czy płeć respondentów różnicuje ich wrażliwość na instrumenty cenowe i promocje?
- W jakim stopniu korzystanie z ofert typu *last minute* wpływa na spontaniczność decyzji zakupowych i czas rezerwacji?

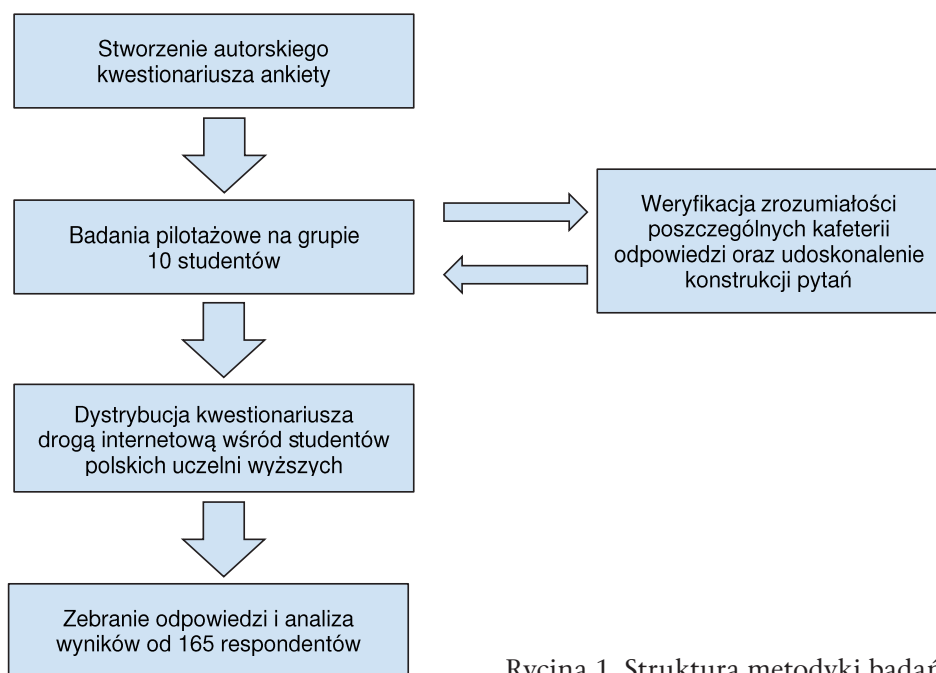
MATERIAŁ I METODY

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 165 respondentów, w tym 109 (66,1%) kobiet i 56 (33,9%) mężczyzn. Istotnym elementem charakterystyki badanych była ich sytuacja materialna, która bezpośrednio determinuje potencjał nabywczy na rynku turystycznym. Analiza odpowiedzi wskazuje, że większość studentów (50,9%) uznała swoją sytuację za dobrą („stać mnie na wyjazdy, ale zwracam uwagę na ceny”). Kolejną liczną grupę (37,6%) stanowili ankietowani o przeciętnej sytuacji materialnej, którzy byli zmuszeni oszczędzać na wyjazdy i aktywnie poszukiwać tanich opcji. Jedynie 4,2% badanych zadeklarowało bardzo dobrą sytuację finansową. Dla nich cena nie grała roli, co potwierdza zasadność przyjętego założenia o wrażliwości cenowej badanej grupy konsumenckiej.

Metody

Badania przeprowadzono w styczniu 2026 r. metodą CAWI (ang. computer-assisted web interviewing). Narzędziem badawczym był autorski kwestionariusz ankiety dystrybuowany wśród respondentów drogą internetową. Przed przystąpieniem do badań właściwych, w celu zapewnienia rzetelności pomiaru, ankietę poddano walidacji poprzez badanie pilotażowe zrealizowane w grupie 10 studentów. Pozwoliło to na weryfikację zrozumiałości poszczególnych kafeterii odpowiedzi oraz udoskonalenie



Rycina 1. Struktura metodyki badań

konstrukcji pytań. Link do ankiety został opublikowany/wysłany za pośrednictwem mediów społecznościowych (m.in. Facebooka, Instagrama), na kanałach komunikacyjnych poszczególnych lat studiów oraz drogą mailową do starostów grup dziekańskich z prośbą o udostępnienie go studentom.

Dobór próby miał charakter celowy; kryterium włączenia był status studenta.

Analiza statystyczna

Wyniki opracowano z wykorzystaniem metod statystyki opisowej obejmujących analizę częstości oraz procentowy rozkład odpowiedzi. Analizy przeprowadzono w programie Statistica oraz arkusza kalkulacyjnym. Do oceny zależności między zmiennymi jakościowymi zastosowano test niezależności chi-kwadrat (χ^2). Jako poziom istotności statystycznej przyjęto wartość $p < 0,05$.

WYNIKI

Analiza materiału badawczego ujawniła istotne różnice w postrzeganiu instrumentów cenowych w zależności od płci respondentów (test χ^2 , $p < 0,01$). Szczegółowy rozkład odpowiedzi przedstawiono w tabelach 1 i 2.

W grupie kobiet ($n = 109$) zaobserwowano dominację postawy wysokiej wrażliwości cenowej (tab. 1). Łącznie blisko połowa respondentek zadeklarowała, że promocje mają na ich decyzje wpływ „raczej silny” (40,37%) lub „decydujący” (9,17%), a kolejne 39,45% uznało ten wpływ za umiarkowany. Odsetek kobiet deklaruujących brak wrażliwości na instrumenty cenowe okazał się marginalny (ok. 11%), co potwierdza, że dla niemal 90% badanych studentek cena stanowiła istotny, choć nie zawsze jedyny, determinant wyboru oferty.

Wśród mężczyzn struktura odpowiedzi była zdecydowanie inna (tab. 2). Studenci najliczniej (42,86%) wskazywali na wpływ „umiarkowany”. Aż co czwarty mężczyzna (25%) zadeklarował, że promocje „raczej nie wpływają” na jego decyzje, a kolejne 5,36% wskazało na całkowity brak

Tabela 1. Oddziaływanie promocji cenowych na decyzje wyjazdowe badanych kobiet

Stopień wpływu	<i>n</i>	%
Umiarkowanie wpływają	43	39,45
Raczej silnie wpływają	44	40,37
Raczej nie wpływają	11	10,09
Decydują o wyborze wyjazdu	10	9,17
W ogóle nie wpływają	1	0,92

Tabela 2. Oddziaływanie promocji cenowych na decyzje wyjazdowe badanych mężczyzn

Stopień wpływu	<i>n</i>	%
Umiarkowanie wpływają	24	42,86
Raczej nie wpływają	14	25,00
Raczej silnie wpływają	13	23,21
W ogóle nie wpływają	3	5,36
Decydują o wyborze wyjazdu	2	3,57

wpływu. Wpływ „raczej silny” zaznaczyło 23,21% respondentów (blisko dwukrotnie mniej niż w grupie kobiet), a rolę decydującą przypisało promocjom jedynie 3,57% badanych.

Na podstawie analizy wykazano istotną statystycznie zależność między płcią respondentów a deklarowanym wpływem promocji cenowych na ich decyzje turystyczne $\chi^2(4) = 13,29$; $p = 0,01$). Oznacza to, że struktura odpowiedzi kobiet i mężczyzn różniła się w sposób nieprzypadkowy. Wśród studentek dominowały wskazania na wpływ umiarkowany i silny, natomiast wśród studentów częściej pojawiały się odpowiedzi mówiące o braku lub niewielkim znaczeniu promocji cenowych. Można zatem założyć, że badane kobiety charakteryzowały się większą wrażliwością na bodźce cenowe w procesie podejmowania decyzji wyjazdowych niż mężczyźni.

Istotnym elementem analizy zachowań konsumenckich na rynku turystycznym jest identyfikacja kluczowych determinant oferty. W celu ustalenia hierarchii czynników decyzyjnych respondenci dokonali oceny ważności sześciu elementów oferty w 5-stopniowej skali Likerta. Analiza wartości średnich miar oraz struktury odpowiedzi umożliwiła określenie znaczenia poszczególnych czynników w modelu decyzyjnym badanej grupy. Pozyskane dane wskazują na wyraźną polaryzację czynników wpływających na wybory studentów (tab. 4).

Tabela 3. Zależność między płcią badanych a wpływem promocji cenowych na ich decyzje o wyjeździe

Statystyka	χ^2	df	p
χ^2 Pearsona	13,28780	4	0,00995
χ^2 NW	13,17065	4	0,01047

Tabela 4. Hierarchia czynników determinujących wybór oferty turystycznej

Czynnik	$\bar{x}$	SD
Atrakcyjność lokalizacji/kierunku	4,23	0,91
Cena całkowita wyjazdu	4,08	0,94
Bezpieczeństwo w miejscu docelowym	3,81	1,04
Dostępność terminów	3,79	1,16
Opinie innych / polecenia znajomych	3,15	1,07
Standard zakwaterowania (gwiazdki, warunki)	3,12	1,15

Analiza ocen ważności poszczególnych składowych oferty turystycznej wskazuje na wyraźną hierarchię czynników decyzyjnych w badanej grupie studentów (tab. 4). Najwyżej ocenionym kryterium okazała się atrakcyjność lokalizacji/kierunku ($4,23 \pm 0,91$), co sugeruje, że walory miejsca docelowego stanowią podstawowy element wyboru podróży. Na drugim miejscu znalazła się cena całkowita wyjazdu ($4,08 \pm 0,94$), potwierdzając jej istotne, lecz nie dominujące znaczenie w procesie decyzyjnym. Szczegółowa analiza wyników pozwala na zdefiniowanie specyfiki studenta jako turysty gotowego na kompromis jakościowy. Na uwagę zasługuje ostatnia pozycja w hierarchii ważności: standard zakwaterowania (średnia ocena 3,12). Blisko 28% respondentów uznało ten aspekt za mało istotny. Uzyskane wyniki sugerują, że decyzje wyjazdowe studentów miały charakter przede wszystkim destynacyjno-ekonomiczny, natomiast czynniki jakościowe i społeczne pełniły funkcję drugorzędną.

Warto również zauważyć wysoką pozycję bezpieczeństwa (średnia ocena 3,81), które uplasowało się znacznie wyżej niż standard czy opinie innych. Przeczy to stereotypowemu postrzeganiu turystyki studenckiej jako nastawionej wyłącznie na ryzyko i przygodę. Bezpieczeństwo jest trak-

Tabela 5. Sposób organizowania wyjazdów

Sposób	<i>n</i>	%
Samodzielna organizacja	102	61,82
Mieszany (czasem biuro, czasem samodzielnie)	50	30,30
Biura podróży	12	7,27
Wyjazdy organizowane przez organizacje studenckie/koła naukowe	11	0,61

Tabela 6. Średni budżet, który badani mogli przeznaczyć na jeden wyjazd turystyczny

Deklarowany budżet	<i>n</i>	%
1001–2000 zł	55	33,33
2001–4000 zł	47	28,48
501–1000 zł	39	23,64
Do 500 zł	16	9,70
Powyżej 4000 zł	8	4,85

towane jako czynnik higieniczny (jego zapewnienie jest oczekiwane), jednak to atrakcyjność miejsca i cena są głównymi motywatorami podjęcia decyzji o zakupie usługi.

Na podstawie testu niezależności χ^2 wykazano statystycznie istotny ($p = 0,00324$, przy $\chi^2 \approx 29,57$) związek między skłonnością do korzystania z promocji a czasem rezerwacji. Wynik ten, istotny na poziomie ufności $\alpha = 0,01$, dowodzi, że oferty typu *last minute* nie były wybierane w sposób losowy. Zachodzi tu wyraźna korelacja: studenci, którzy deklarowali krótszy czas rezerwacji, byli jednocześnie grupą najczęściej i najaktywniej korzystającą z agresywnych promocji cenowych. Potwierdza to mechanizm, w którym dostępność oferty „na ostatnią chwilę” realnie wpływa na skrócenie procesu decyzyjnego.

Wysoka podatność na oferty *last minute* była ściśle powiązana z preferowanym modelem organizowania wyjazdów. Jak wynika z danych przedstawionych w tabeli 5, dominującą formą w badanej grupie (61,82% respondentów) była samodzielna organizacja podróży. Jedynie 7,27% studentów odpowiedziało, że korzysta wyłącznie z biur podróży. Taka struktura rynku sprzyja zachowaniom spontanicznym – turysta samodzielny jest bardziej elastyczny i może szybciej zareagować na pojawiającą się w systemie rezerwacyjnym okazję, nie będąc ograniczonym sztywnymi ramami ofert katalogowych biur podróży.

Zrozumienie mechanizmu skłaniającego studentów do poszukiwania ofert *last minute* wymaga również analizy ich możliwości finansowych (tab. 6). Dane wskazują, że najliczniej ankietowani (33,33%) deklarowali, że na jeden wyjazd są w stanie wydać 1001–2000 zł. Co czwarty badany (23,64%) musiał zmieścić się w kwocie 501–1000 zł. Ograniczone zasoby finansowe (ponad 66% respondentów dysponowało budżetem poniżej 2000 zł) stanowią naturalny czynnik wypychający studentów w stronę ofert wyprzedażowych. Spontaniczność decyzji i akceptacja ofert *last minute* jest zatem w tym segmencie pochodną kalkulacji ekonomicznej – studenci decydują się na późną rezerwację, licząc na to, że pozwoli im to zmieścić się w założonym, relatywnie niskim budżecie.

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania potwierdziły dominującą rolę instrumentów cenowych w procesie decyzyjnym studentów, przy czym wykazano istotnie wyższą wrażliwość na promocje w grupie kobiet. Analiza hierarchii

ważności czynników obaliła jednak mit o cenie jako jedynej determinancie wyboru; choć uplasowała się ona na drugim miejscu, ustępując atrakcyjności lokalizacji. Uzyskana hierarchia czynników decyzyjnych pozostaje zgodna z wynikami badań nad zachowaniami turystycznymi młodych dorosłych, które wskazują, że przedstawiciele pokolenia Z kierują się przede wszystkim atrakcyjnością doświadczenia podróżniczego, a dopiero w dalszej kolejności elementami komfortu (Konieczna i Trybuś-Borowiecka, 2025). Jednocześnie wysoka pozycja ceny potwierdza znaczącą wrażliwość ekonomiczną tej grupy konsumentów, wynikającą z ograniczonych zasobów finansowych przy jednoczesnej wysokiej motywacji do podróżowania. Student jawi się jako konsument racjonalny, gotowy na kompromis jakościowy, akceptujący niższy standard zakwaterowania w zamian za możliwość odwiedzenia wymarzonego miejsca w ramach akceptowalnego budżetu. Weryfikacja wpływu ofert typu *last minute* wykazała statystycznie istotną korelację między korzystaniem z promocji a skracaniem czasu rezerwacji, jednak spontaniczność ta dotyczyła głównie wymiaru czasowego, a nie geograficznego, gdyż studenci wykazywali wysoką wierność wobec pierwotnych aspiracji podróżniczych.

Wyniki pozwalają zdefiniować badaną grupę jako „turystycznych smart shopperów”, którzy preferują samodzielną organizację wyjazdów i optymalizację budżetu, najczęściej w przedziale 1000–2000 zł, wykazując jednocześnie odporność na presję marketingową i techniki manipulacji cyfrowej. Z perspektywy branży turystycznej rynek ten wymaga strategii opartej na marketingu destynacji, w którym niska cena jest argumentem domykającym, a nie głównym wyróżnikiem oferty. Skuteczna dystrybucja powinna wykorzystywać kanały mobilne do oferowania krótkoterminowych okazji, a sam produkt turystyczny należy dopasować poprzez rezygnację z kosztownych usług dodatkowych na rzecz obniżenia ceny bazowej przy zachowaniu atrakcyjnej lokalizacji.

OGRANICZENIA

Zastosowanie doboru celowego było adekwatne do zdefiniowanego celu badań, stanowi jednak pewne ograniczenie w odniesieniu do szerokiej generalizacji uzyskanych wyników na całą populację badanego pokolenia.

WNIOSKI

Realizacja celu głównego badań, którym była identyfikacja wpływu instrumentów cenowych na proces decyzyjny studentów, pozwoliła na sformułowanie wniosku, że cena jest kluczową, lecz nie jedyną determinantą wyboru oferty turystycznej. Badani studenci okazali się grupą wysoce wrażliwą na bodźce ekonomiczne, jednak ich decyzje wynikają z kompromisu między ograniczeniami budżetowymi a aspiracjami podróżniczymi. W odpowiedzi na szczegółowe pytania badawcze ustalono, że w hierarchii czynników decyzyjnych dominowała atrakcyjność lokalizacji, która nieznacznie wyprzedzała cenę. Wskazuje to na gotowość studentów do obniżenia standardu zakwaterowania w zamian za możliwość odwiedzenia wymarzonego miejsca. Ponadto wykazano istotne statystycznie zróżnicowanie zachowań ze względu na płeć. Kobiety charakteryzowały się znacznie wyższą niż mężczyźni podatnością na promocje i oferty typu *last minute*. Potwierdzono również, że oferty promocyjne skutecznie skracają czas decyzji o rezerwacji (stymulują spontaniczność czasową), rzadziej jednak prowadzą do całkowitej zmiany wybranego wcześniej kierunku wyjazdu. Z perspektywy praktycznej (implikacje menedżerskie) uzyskane wyniki sugerują konieczność segmentacji działań marketingowych biur podróży. Oferty kierowane do segmentu studenckiego powinny być konstruowane w modelu „atrakcyjna destynacja – budżetowy nocleg”. Oferty *last minute* powinny być silnie profilowane pod kątem kobiet, które częściej inicjują spontaniczne wyjazdy.

Przyszłe badania należy rozszerzyć o większą próbę respondentów, obejmującą nie tylko studentów, ale całe pokolenie Z, w tym osoby już pracujące. Wartościowe byłoby również zbadanie korelacji między zakresem korzystania z promocji a kanałami rezerwacji (urządzenia mobilne vs desktop), co pozwoliłoby na jeszcze lepsze dopasowanie strategii dystrybucji ofert turystycznych.

BIBLIOGRAFIA

- Cheng, M.W.T., Leung, M.-L., Yu, C.W.M., Yue, K.K.M., Liu, E.S.C., Chu, S.K.W. (2021). Sustaining healthy staying communities in university residential halls amid unprecedented pandemic. *Sustainability*, 13(11), 6176, <https://doi.org/10.3390/su13116176>.
- European Travel Commission (2020). *Study on Generation Z Travellers*. Brussels: ETC.

- Konieczna, P., Trybuś-Borowiecka, K. (2025). Touristic behaviors of Generation Z: reasons behind the reduction in travel among young people. *Sustainability*, 17(17), 7919, <https://doi.org/10.3390/su17177919>.
- Moroz, A. (2008). Rola i znaczenie zachowań konsumenta w procesie zakupu – wyboru marki. *Przegląd Organizacji*, 6(821), 34–38, <https://doi.org/10.33141/po.2008.06.08>.

ABSTRACT

The impact of promotions and last minute offers on students' travel decisions

Introduction. The study was designed to identify the impact of pricing instruments, particularly promotions and last minute offers, on students' decision-making processes in the tourism services market. **Material.** The study was conducted on a sample of 165 students from Polish higher education institutions (66.1% female and 33.9% male). The majority of respondents reported a good financial situation (50.9%) and a preference for self-organised travel (61.82%). **Methods.** A diagnostic survey method (CAWI) was employed. **Results.** In the hierarchy of decision-making factors, location attractiveness ranked highest (4.23%), slightly ahead of the total trip cost (4.08%) and safety (3.81%). The standard of accommodation was rated lowest (3.12%), suggesting a propensity among students to compromise on quality. Statistically significant gender-based differences in price sensitivity were identified ($p < 0.01$). In the female group, close to 50% of respondents declared that promotions had a 'rather strong' (40.37%) or 'decisive' (9.17%) impact on their decisions; by contrast, among men, one in four respondents (25%) reported no significant influence of these stimuli. A strong correlation ($p = 0.0032$) was also found between the use of last minute offers and a shorter booking lead time. **Conclusions.** The contemporary student may be described as a tourism 'smart shopper' who, typically with a budget of PLN 1,000–2,000 (33.33% of responses), seeks to optimise costs while still pursuing preferred travel destinations.

Keywords: consumer behaviour, tourism market, price promotions, last minute offers, decision-making process

Adres do korespondencji
e-mail: antonikrupa.kontakt@gmail.com

ADA NOCKOWSKA^{1,2}, KATARZYNA JOANNA STOPA²,
KRZYSZTOF GOMUŁKA³

¹ Studenckie Koło Naukowe Chorób Wewnętrznych i Alergologii,
Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

² Kliniczny Oddział Dermatologiczno-Wenerologiczny, 4. Wojskowy
Szpital Kliniczny z Polikliniką SP ZOZ we Wrocławiu

³ Katedra i Klinika Alergologii i Chorób Wewnętrznych, Instytut Chorób
Wewnętrznych, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

ROLA PALLADU W MECHANIZMIE REAKCJI KRZYŻOWYCH W ALERGII KONTAKTOWEJ NA METALE – IMPLIKACJE KLINICZNE NA PODSTAWIE OPISU PRZYPADKU

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem pracy było przedstawienie przypadku klinicznego ilustrującego znaczenie palladu w mechanizmie reakcji krzyżowych u pacjenta po implantacji materiału zespalającego. **Materiał.** Przypadek 62-letniego mężczyzny z uogólnionym wypryskiem rozwijającym się kilka miesięcy po operacyjnej stabilizacji wieloodłamowego złamania kości piętowej z użyciem śrub ze stali nierdzewnej. **Metody.** W diagnostyce wykonano standardowe testy płatkowe, które nie wykazały dodatnich reakcji na badane hapteny. W rozszerzonej diagnostyce przeprowadzono test transformacji limfocytów (ang. *lymphocyte transformation test*, LTT), który ujawnił dodatnią reakcję na pallad. **Wyniki.** Zmiany skórne miały charakter rumieniowo-złuszczający i stopniowo szerzyły się z okolicy operowanej na kończyny dolne oraz tułów. Mimo braku palladu w składzie implantu dodatni wynik LTT wskazywał na nadwrażliwość typu IV z prawdopodobną reaktywnością krzyżową wobec niklu lub chromu obecnych w śrubach. Zastosowane leczenie ogólne i miejscowe przyniosło istotną poprawę kliniczną, jednak z uwagi na nawrotowy charakter zmian pacjent został zakwalifikowany do usunięcia materiału zespalającego. **Wnioski.** Opisany przypadek podkreśla znaczenie uwzględniania reakcji krzyżowych pomiędzy metalami w diagnostyce zmian skórnych po implantacji. Rozpoznanie nadwrażliwości na metale często pozostaje diagnozą z wykluczenia i wymaga pogłębionej analizy klinicznej oraz właściwej interpretacji badań alergologicznych. Włączenie tej jednostki do diagnostyki różnicowej może przyspieszyć wdrożenie odpowiedniego postępowania i ograniczyć przewlekłość objawów.

Słowa kluczowe: alergia na metale, pallad, reaktywność krzyżowa, nadwrażliwość typu IV

WPROWADZENIE

Pallad (Pd) jest metalem powszechnie używanym w biżuterii, leczeniu protetycznym i implantologicznym w stomatologii, a także w endoprotezoplastyce stawów w chirurgii ortopedycznej (Kielhorn i wsp., 2002; Shige-

matsu i wsp., 2020). Sam w sobie może wywoływać alergię kontaktową, działając jako czynnik uczulający, ale również prowadzić do sensytyzacji na inne metale (Minang i wsp., 2006; Sadrolvaezin i wsp., 2023; Shigematsu i wsp., 2020). W badaniach wykazano częste współwystępowanie nadwrażliwości na pallad oraz nikiel bądź chrom, co sugeruje możliwe istnienie mechanizmów reaktywności krzyżowej między tymi metalami (Shigematsu i wsp., 2020; Thyssen i Menné, 2010).

Reakcja organizmu wynika z inicjacji odpowiedzi limfocytów T, które mogą być swoiste dla metali, takich jak chrom czy pallad, a także z aktywacji wrodzonych komórek limfoidalnych (ang. *innate lymphoid cells*, ILC) i niezmiennych limfocytów T typu NK (ang. *invariant natural killer T cells*, iNKT), czyli komórek z pogranicza odporności wrodzonej i nabytej. Jony metali działają jako same w sobie nieimmunogenne hapteny i tworząc kompleksy z białkami gospodarza, prowadzą do aktywacji limfocytów T, rozwoju nadwrażliwości typu IV (Sadrolvaezin i wsp., 2023; Shigematsu i wsp., 2020). Do wykrycia alergii często używa się testów płatkowych oraz, rzadziej, pobiera się krew w celu przeprowadzenia testu hamowania migracji leukocytów (ang. *leukocyte migration inhibition test*, LMIT) czy określenia stopnia proliferacji limfocytów T po ekspozycji na alergen (ang. *lymphocyte transformation test*, LTT) (Cristofaro i wsp., 2023; Fujii, 2017; Shigematsu i wsp., 2020). Badania LMIT i LTT charakteryzują się większą swoistością niż testy płatkowe, jednak są gorzej dostępnymi i droższymi metodami diagnostycznymi. Z kolei testy płatkowe, mimo większej powszechności, nie zawsze odzwierciedlają obraz kliniczny, właśnie ze względu na wspomnianą reaktywność między różnymi metalami (Cristofaro i wsp., 2023; Fujii, 2017; Minang i wsp., 2006; Schalock i wsp., 2016; Shigematsu i wsp., 2020). Ponadto wynik testu płatkowego może być ujemny mimo obecności klinicznie istotnej nadwrażliwości na metal zawarty w implancie, co dodatkowo utrudnia proces diagnostyczny (Minang i wsp., 2006; Schalock i wsp., 2016). W kontekście obecności implantów metalowych nadwrażliwość może manifestować się zarówno miejscowo, jak i w postaci uogólnionych zmian wypryskowych (Sadrolvaezin i wsp., 2023), w konsekwencji czego rozpoznanie przyczyn zmian alergicznych stanowi trudności diagnostyczne. W praktyce klinicznej może to prowadzić do opóźnienia właściwego rozpoznania oraz wdrożenia adekwatnego postępowania, w tym rozważenia usunięcia materiału implantacyjnego (Cristofaro i wsp., 2023; Schalock i wsp., 2016).

CEL BADAŃ

Celem pracy było przedstawienie przypadku uogólnionego wyprysku związanego z podejrzeniem reakcji krzyżowej z udziałem palladu oraz podkreślenie znaczenia właściwej interpretacji wyników badań alergologicznych w kontekście obecności metalowych implantów.

OPIS PRZYPADKU

Analizie poddano przypadek 62-letniego mężczyzny leczonego z powodu nadciśnienia tętniczego peryndoprylem, amlodypiną i nebiwololem, który zgłosił się z powodu postępujących, rozsianych zmian wypryskowych obejmujących początkowo okolice prawej pięty. W wywiadzie ustalono, że w sierpniu 2024 r. pacjent doznał wieloodłamowego złamania kości piętowej prawej w wyniku upadku z drabiny. Zastosowano leczenie operacyjne z użyciem stabilizacji wewnętrznej śrubami ze stali nierdzewnej w składzie: żelazo (60–65%), chrom (17–19%), nikiel (13–15%), molibden (2,25–3,0%), mangan ($\leq 2,0\%$), krzem ($\leq 1,0\%$), miedź (0,05%), węgiel ($\leq 0,03\%$), fosfor ($\leq 0,025\%$), siarka ($\leq 0,010\%$), azot ($\leq 0,10\%$) – według materiałów producenta.

Około 5 miesięcy po zabiegu, tj. w styczniu 2025 r., w okolicy prawego stawu skokowego pojawiły się zmiany rumieniowo-złuszczające o charakterze wypryskowym, którym towarzyszył nasilony świąd. W ciągu kolejnych tygodni zmiany stopniowo rozszerzyły się na obie kończyny dolne oraz tułów. Początkowo ze względu na ból i jednostronność zmian podejrzewano półpaśca, a następnie infekcję gronkowcem złocistym, którego wykryto w badaniu mikrobiologicznym wymazu ze zmian skóry. Zastosowane leczenie acyklowirem, potem klindamycyną doustnie i kwasem fusydowym miejscowo nie przyniosło jednak poprawy.

Przy przyjęciu do oddziału dermatologicznego w sierpniu 2025 r. stwierdzono nieostro odgraniczone ognisko rumieniowe o wielkości około 15 cm z rozsianymi grudkami, nadżerkami i surowiczymi strupami (ryc. 1). Zmiana była zlokalizowana w okolicy kostki bocznej kończyny dolnej prawej i sięgała od dolnej części podudzia po zewnętrzny brzeg stopy. Ponadto obserwowano pojedyncze, rozsiane grudki głównie na całej prawej kończynie dolnej oraz pojedyncze zmiany na tułowie. W obrębie prawej pięty utrzymywała się bolesność przy obciążeniu kończyny. Nasilenie świądu oceniono na 7 pkt w skali 0–10 (Itch Numeric Rating Scale, NRS).



Rycina 1. Zmiany skórne kończyny dolnej prawej przy przyjęciu do oddziału



Rycina 2. Zmiany skórne kończyny dolnej prawej po rozpoczęciu leczenia, częściowa remisja zmian

W testach płytkowych wykonanych za pomocą polskiego zestawu standardowego (serii I PST-1000 firmy Chemotechnique Diagnostics) nie stwierdzono reakcji dodatnich. Poza podwyższonym cholesterolem całkowitym nie odnotowano istotnych odchyleń od normy w podstawowych badaniach laboratoryjnych. Ze względu na związek czasowy pomiędzy implantacją materiału zespalającego a pojawieniem się zmian skórnych oraz ich rozsiany charakter wysunięto podejrzenie nadwrażliwości typu IV na składniki implantu ortopedycznego.

W rozszerzonej diagnostyce alergologicznej wykonano test transformacji limfocytów (ang. *lymphocyte transformation test*, LTT), w którym stwierdzono dodatnią reakcję na pallad. Jednakże zgodnie z informacją producenta zastosowany implant nie zawierał palladu, na żadnym etapie produkcji i transportu nie było też możliwości kontaktu z tym pierwiastkiem. Uzyskany wynik interpretowano zatem jako potwierdzenie mechanizmu nadwrażliwości typu IV z możliwą reaktywnością krzyżową najprawdopodobniej z niklem lub chromem.

Wdrożono leczenie ogólne acytretyną oraz miejscowo furoinianem mometazonu, uzyskując znaczną poprawę (ryc. 2). Z powodu nawrotowego charakteru zmian pacjent podjął decyzję o operacyjnym usunięciu elementów metalowych. Oczekuje obecnie na zabieg usunięcia materiału zespalającego.

DYSKUSJA

Czynnikiem etiologicznym zmian u opisanego pacjenta była prawdopodobnie reakcja krzyżowa między metalami, co doprowadziło do uruchomienia mechanizmu nadwrażliwości typu IV według klasyfikacji Gella i Coombsa, czyli reakcji typu późnego (Pistori i wsp., 1995; Sadrolvaezin i wsp., 2023). Symptomy pojawiły się bezpośrednio po operacji wewnętrznej stabilizacji kości piętowej śrubami i nie ustępowały całkowicie mimo leczenia. Sugeruje to, że czynnikiem wyzwalającym mógł być jeden z metali zawartych w stopie śrub, najprawdopodobniej nikiel lub chrom, który ze względu na uczulenie pacjenta na pallad wywołał opisywane objawy. Warto też dodać, że zaobserwowane u pacjenta zarówno miejscowe, jak i rzadziej występujące rozsiane zmiany skórne znajdują potwierdzenie w literaturze przedmiotu w kontekście nadwrażliwości na metale w chirurgii ortopedycznej stopy i stawu skokowego. Należy jednak podkreślić, że objawy mogą być różne u różnych pacjentów w zależności od czasu ekspozycji, jakości kontaktu i ilości alergenu metalu, predyspozycji genetycznych oraz zdolności detoksykacyjnych organizmu (Cristofaro i wsp., 2023; Sadrolvaezin i wsp., 2023; Schalock i wsp., 2016). Warto też zwrócić uwagę, że w przypadku długotrwałego, bliskiego kontaktu ze skórą metale mogą reagować z potem, biofilmem i innymi płynami ustrojowymi, tworząc stężenie jonów wystarczające do wywołania reakcji alergicznej, która wcześniej nie występowała (Minang i wsp., 2006; Tu i Wu, 2011).

W literaturze udokumentowano reakcje między palladem i niklem (Fujii, 2017; Sadrolvaezin i wsp., 2023). Fujii (2017) opisał przypadek rozległej dermatozy, która pojawiła się u kobiety po kontakcie fletu wykonanego z niklu z metalowymi protezami zębowymi zawierającymi w stopie pallad, które pacjentka miała od dziecka. Reakcja alergiczna znacząco ustąpiła po usunięciu elementów zawierających pallad z jamy ustnej pacjentki. Dowiedziono również reakcji alergicznych na modelach mysich. Badania obejmowały, poza niklem, także reakcje między palladem i chromem (Sadrolvaezin i wsp., 2023; Shigematsu i wsp., 2020). Warto tu wspomnieć, że zarówno nikiel, jak i chrom znajdowały się w składzie stopu śrub zastosowanych u pacjenta przedstawionego w opisie przypadku.

Alergia na pallad wykazuje znaczne zróżnicowanie pod względem częstości występowania. Podaje się, że jej odsetek waha się od mniej niż 1% do nawet 19% wśród alergii na metale, w zależności od regionu świata i badanej grupy pacjentów (Faurschou i wsp., 2011; Sadrolvaezin i wsp., 2023;

Thyssen i Menné, 2010). Dodatkowo stwierdzono, że nawet 95% pacjentów uczulonych na pallad uzyskuje dodatnie wyniki testów również w kierunku alergii na nikiel, a w mniejszym nasileniu także na inne metale, takie jak chrom czy kobalt (Thyssen i Menné, 2010). Uczulenie wyłącznie na pallad, bez współistniejących dodatnich wyników w zakresie innych metali, jest bardzo rzadkie – średnia częstość jego występowania to jedynie 0,2% wszystkich alergii na metale. Na podstawie wyników testów alergicznych do tej grupy można zaklasyfikować opisany w niniejszej pracy przypadek (Faurschou i wsp., 2011).

Reaktywność między palladem a niklem nie jest w pełni zrozumiana, w literaturze przedmiotu można jednak odnaleźć opisy prawdopodobnego mechanizmu, chodzi mianowicie o podobieństwo geometrii koordynacyjnej jonów metali w stanie związania z białkiem, których układ odpornościowy nie potrafi od siebie odróżnić. Skutkiem tego u osób uczulonych na nikiel wiele limfocytów T reaguje również na miedź i pallad, co może tłumaczyć zjawisko koreaktywności (Faurschou i wsp., 2011; Kielhorn i wsp., 2002; Pistor i wsp., 1995). Minang i wsp. (2006) odnotowali też, że w niektórych przypadkach osoby z alergicznym kontaktowym zapaleniem skóry i reaktywnością kontaktową na jeden lub kilka metali wykazywały *in vitro* reakcje na metale, na które w teście płatkowym uzyskały wynik ujemny, co tłumaczono przypuszczeniem, że jednojądrzaste komórki krwi obwodowej osób z reaktywnością immunologiczną na dowolny metal są łatwiej pobudzane do reakcji z innymi metalami w sposób nieswoisty. Dodatkowo stwierdzono, że nikiel, kobalt, chrom i pallad wywołują podobną odpowiedź limfocytów Th1-Th2 u pacjentów z dodatnimi reakcjami w testach płatkowych na te metale (Minang i wsp., 2006).

Samo uczulenie na pallad jest często pomijane i traktowane jako kliniczny marker alergii na nikiel. Dzieje się tak ze względu na trudności w ustaleniu możliwej ekspozycji na pallad, częsty brak tego metalu w standardowych testach płatkowych stosowanych w Europie i Ameryce Północnej oraz niespecyficzne objawy kliniczne reakcji alergicznej na ten metal (Faurschou i wsp., 2011; Kielhorn i wsp., 2002). Mimo że wielu badaczy wskazuje na możliwość wystąpienia alergii na pallad w przypadku uczulenia na nikiel, istotne wydaje się uwzględnianie również potencjalnej reakcji na inne metale w sytuacji odwrotnej, to znaczy gdy u pacjenta nie stwierdza się innych dodatnich wyników testów alergicznych poza uczuleniem na pallad, a jednocześnie pacjent ten wykazuje odczyn alergiczny w kontakcie z metalami bezpośrednio sąsiadującymi z palladem w układzie okresowym pierwiastków (Kielhorn i wsp., 2002; Minang i wsp., 2006).

Ze względu na pierwotnie ujemny wynik testów płatkowych oraz lokalizację głównego ogniska na stopie u opisywanego pacjenta wybrano leczenie analogiczne jak w przypadku leczenia wyprysku rąk i stóp, łącznie z miejscowym stosowaniem kortykosteroidów, co okazało się częściowo skuteczne (Sadrolvaezin i wsp., 2023; Song i wsp., 2017; Thestrup-Pedersen i wsp., 2001). Mimo że z czasem rozpoznanie zmieniono na alergię kontaktową, leczenia nie zmodyfikowano ze względu na uzyskaną poprawę kliniczną.

Źródła naukowe nie zalecają rutynowego przeprowadzania testów alergicznych przed zabiegami z wykorzystaniem implantów, ponieważ nie zawsze pozwalają one przewidzieć, czy wystąpi alergia na wszczepiony implant, niezależnie od tego, czy test jest ujemny czy dodatni. Mimo to pogłębiony wywiad powinien uwrażliwić lekarzy specjalizacji zabiegowych na możliwość powikłań alergicznych oraz skłonić do podjęcia dodatkowych kroków w ocenie przedoperacyjnej pacjenta (Cristofaro i wsp., 2023; Schalock i wsp., 2016).

Jeśli po operacji pojawiają się zmiany i nadwrażliwość na metal, co pozostaje diagnozą z wykluczenia po rozważeniu innych, częściej występujących przyczyn (np. infekcji), istotne jest, oprócz leczenia farmakologicznego, dokonanie wymiany implantu na taki, który jest wykonany z materiałów hipoalergicznym, albo jego całkowite usunięcie. W większości przypadków to właśnie usunięcie implantu skutkowało ustąpieniem objawów (Faurischou i wsp., 2011; Schalock i wsp., 2016). Decyzja o usunięciu wszczepionego urządzenia musi obejmować ocenę wszystkich czynników klinicznych oraz dokładną analizę ryzyka i korzyści przeprowadzoną przez lekarza prowadzącego i pacjenta, ponieważ pooperacyjny dodatni wynik testu na metal nie dowodzi związku przyczynowego objawów, które mogą mieć inną etiologię (Schalock i wsp., 2016). Nie należy ignorować możliwości wystąpienia alergii kontaktowej na metale po operacjach, w tym na niedoceniany pallad, jednak jej rozpoznanie powinno opierać się na pogłębionej diagnostyce (Cristofaro i wsp., 2023; Sadrolvaezin i wsp., 2023).

BIBLIOGRAFIA

- Cristofaro, C., Pinsker, E.B., Halai, F., Wolfstadt, J., Daniels, T.R., Mansur, M. (2023). Metal hypersensitivity in foot and ankle orthopaedic surgery: a systematic review. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 44, 102249, <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2023.102249>.

- Faurschou, A., Menné, T., Johansen, J.D., Thyssen, J.P. (2011). Metal allergen of the 21st century – a review on exposure, epidemiology and clinical manifestations of palladium allergy. *Contact Dermatitis*, 64(4), 185–195, <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.2011.01878.x>.
- Fujii, Y. (2017). Severe dermatitis might be caused by a cross-reaction between nickel and palladium and dental amalgam resolved following removal of dental restorations. *Clinical Case Reports*, 5(6), 795–800, <https://doi.org/10.1002/ccr3.938>.
- Kielhorn, J., Melber, C., Keller, D., Mangelsdorf, I. (2002). Palladium – a review of exposure and effects to human health. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 205(6), 417–432, <https://doi.org/10.1078/1438-4639-00180>
- Minang, J.T., Areström, I., Troye-Blomberg, M., Lundeberg, L., Ahlborg, N. (2006). Nickel, cobalt, chromium, palladium and gold induce a mixed Th1- and Th2-type cytokine response in vitro in subjects with contact allergy to the respective metals. *Clinical and Experimental Immunology*, 146(3), 417–426, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2249.2006.03226.x>.
- Pistor, F.H.M., Kapsenberg, M.L., Bos, J.D., Meinardi, M.M.H.M., Mary, B., von Blomberg, E., Scheper, R.J. (1995). Cross-reactivity of human nickel-reactive T-lymphocyte clones with copper and palladium. *Journal of Investigative Dermatology*, 105(1), 92–95, <https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12313366>.
- Sadrolvaezin, A., Pezhman, A., Zare, I., Nasab, S.Z., Chamani, S., Naghizadeh, A., Mostafavi, E. (2023). Systemic allergic contact dermatitis to palladium, platinum, and titanium: mechanisms, clinical manifestations, prevalence, and therapeutic approaches. *MedComm*, 4(6), e386, <https://doi.org/10.1002/mco2.386>.
- Schalock, P.C., Crawford, G., Nedorost, S., Scheinman, P.L., Atwater, A.R., Mowad, C., Brod, B., Ehrlich, A., Watsky, K.L., Sasseville, D., Silvestri, D., Worobec, S.M., Elliott, J.F., Honari, G., Powell, D.L., Taylor, J., DeKoven, J. (2016). Patch testing for evaluation of hypersensitivity to implanted metal devices: a perspective from the American Contact Dermatitis Society. *Dermatitis*, 27(5), 241–247, <https://doi.org/10.1097/DER.0000000000000210>.
- Shigematsu, H., Kumagai, K., Suzuki, M., Eguchi, T., Matsubara, R., Nakasone, Y., Nasu, K., Yoshizawa, T., Ichikawa, H., Mori, T., Hamada, Y., Suzuki, R. (2020). Cross-reactivity of palladium in a murine model of metal-induced allergic contact dermatitis. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(11), 4061, <https://doi.org/10.3390/ijms21114061>.
- Song, M., Lee, H.-J., Lee, W.-K., Kim, H.-S., Ko, H.-C., Kim, M.-B., Kim, B.-S. (2017). Acitretin as a therapeutic option for chronic hand eczema. *Annals of Dermatology*, 29(3), 385–387, <https://doi.org/10.5021/ad.2017.29.3.385>.
- Thestrup-Pedersen, K., Andersen, K.E., Menné, T., Veien, N.K. (2001). Treatment of hyperkeratotic dermatitis of the palms (eczema keratoticum) with oral acitretin. A single-blind placebo-controlled study. *Acta Dermato-Venereologica*, 81(5), 353–355, <https://doi.org/10.1080/000155501317140089>.

- Thyssen, J.P., Menné, T. (2010). Metal allergies – a review on exposures, penetration, genetics, prevalence, and clinical implications. *Chemical Research in Toxicology*, 23(2), 309–318, <https://doi.org/10.1021/tx9002726>.
- Tu, M.-E., Wu, Y.-H. (2011). Multiple allergies to metal alloys. *Dermatologica Sinica*, 29(2), 41–43, <https://doi.org/10.1016/j.dsi.2011.05.010>.

ABSTRACT

The role of palladium in cross-reactivity in metal contact allergy:
clinical implications based on a case report

Introduction. The aim of this study was to present a clinical case illustrating the role of palladium in cross-reactive mechanisms in a patient following implantation of orthopedic fixation material. **Material.** A 62-year-old patient presented with generalized eczema that developed several months after surgical fixation of a comminuted calcaneal fracture with stainless steel screws. **Methods.** Standard patch testing was performed and showed no positive reactions to the tested haptens. Further evaluation using lymphocyte transformation testing (LTT) revealed a positive reaction to palladium. **Results.** The skin lesions were erythematous and scaly, progressively spreading from the surgical site to the lower limbs and trunk. Despite the absence of palladium in the implant, a positive LTT result suggested type IV hypersensitivity with probable cross-reactivity to nickel or chromium present in the screws. Systemic and topical therapy resulted in marked clinical improvement. However, due to the recurrent nature of the lesions, the patient was scheduled for removal of the fixation material. **Conclusions.** This case highlights the importance of cross-reactivity between metals in the evaluation of post-implantation skin lesions. Metal hypersensitivity is often a diagnosis of exclusion and requires thorough clinical assessment and careful interpretation of allergy testing results. Consideration of this condition in the differential diagnosis may lead to appropriate management and limit symptom chronicity.

Keywords: metal allergy, palladium, cross-reactivity, type IV hypersensitivity

Adres do korespondencji
e-mail: ada.nockowska@student.umw.edu.pl

ALEKSANDRA SUTKOWSKA, URSZULA SZCZEPANIK
Wydział Wychowania Fizycznego i Sportu, Akademia Wychowania
Fizycznego im. Polskich Olimpijczyków we Wrocławiu

ROLA TURYSTYKI W KSZTAŁTOWANIU POSTAW I KOMPETENCJI MŁODZIEŻY W ZWIĄZKU HARCERSTWA RZECZYPOSPOLITEJ

STRESZCZENIE

Wprowadzenie. Celem badań była ocena roli turystyki jako elementu procesu wychowania w Związku Harcerstwa Rzeczypospolitej (ZHR) i jej wpływu na kształtowanie postaw i kompetencji młodzieży. **Materiał.** Materiał badawczy stanowiło 15 wywiadów z członkami ZHR. Grupę badaną tworzyło 10 instruktorów pełniących funkcje wychowawcze (np. drużynowe, hufcowe) oraz 5 harcererek i wędrowniczek w wieku 15–17 lat. **Metody.** Zastosowano metodę jakościową, opierając analizę na 10 wywiadach z instruktorkami ZHR oraz 5 wywiadach z harcerkami i wędrowniczkami z różnych regionów Polski. **Wyniki.** Analiza wykazała, że turystyka w ZHR jest traktowana jako strategiczne narzędzie metodyczne. Instruktorki planują wyjazdy, dobierając aktywności (np. spływy kajakowe, kwatermistrzostwo) do konkretnych celów wychowawczych, takich jak ćwiczenie współpracy czy odpowiedzialności. Wyjazdy do miejsc pamięci narodowej służą kształtowaniu postaw patriotycznych. Turystyka umożliwia naukę przez doświadczenie w warunkach innych niż codzienne. **Wnioski.** Turystyka pełni w ZHR kluczową funkcję wychowawczą, będąc celowym narzędziem metodycznym. Umożliwia naukę przez działanie i doświadczenie, rozwijając u młodzieży takie umiejętności, jak zaradność, odpowiedzialność, samodzielność oraz podejmowanie współpracy. Szczególną rolę w procesie wychowawczym odgrywają wyjazdy o przedłużonym czasie trwania. **Słowa kluczowe:** turystyka, wychowanie, harcerstwo, ZHR

WPROWADZENIE

Współczesne wychowanie młodzieży stoi przed licznymi wyzwaniami, takimi jak rozwój technologii, spadek aktywności fizycznej oraz zmiany cywilizacyjne. W odpowiedzi na te wyzwania organizacje społeczne, w tym Związek Harcerstwa Rzeczypospolitej (ZHR), sięgają po sprawdzone koncepcje pedagogiczne. Harcerstwo opiera swoją działalność na unikalnym systemie wychowawczym, który znacząco różni się od edukacji formalnej (Skotnicki, 2021), a jego metodyka, w tym relacja instruktor–wychowanek, stanowi fenomen na tle innych środowisk edukacyjnych (Śliwerski, 2019). Istotnym elementem metody wychowawczej stosowanej w ZHR jest

turystyka uznana w statucie Związku za jedno z działań pozwalających na realizację jego celów (ZHR, 2023).

W strukturze ZHR turystyka jest postrzegana nie tylko jako forma rekreacji, ale też jako świadome narzędzie pedagogiczne (Płocka, 2009). Opierając się na założeniach wychowania poprzez aktywność oraz wytycznych pedagogiki przeżycia (Palamer-Kabacińska, 2021), umożliwia ono rozwijanie/promowanie idei wychowania holistycznego, które skupia się na harmonijnym rozwoju w wymiarze fizycznym, kulturowym, duchowym, społecznym i emocjonalnym (Śliwerski, 2020).

CEL BADAŃ

Zagadnienie roli turystyki w procesie wychowawczym w ZHR jest stosunkowo rzadko opisywane w literaturze przedmiotu w sposób bezpośredni. Celem badań było ukazanie turystyki jako narzędzia wychowawczego w Związku oraz ocena wpływu organizowanych wyjazdów na kształtowanie postaw (np. odpowiedzialności, patriotyzmu) i kompetencji (np. zaradności, umiejętności planowania) badanej młodzieży harcerskiej.

Celem szczegółowym było rozpoznanie, w jaki sposób działalność turystyczna wpływa na kształtowanie postaw i kompetencji młodzieży oraz ustalenie, czy instruktorzy świadomie stosują turystykę w celach wychowawczych.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono w ramach pracy licencjackiej pierwszej autorki (Sutkowska, 2025), która odpowiadała za koncepcję badań, przeprowadzenie wywiadów, zebranie materiału empirycznego oraz analizę całościową analizę. Druga autorka pełni rolę opiekuna naukowego, odpowiadając za nadzór metodologiczny, korektę rzetelności interpretacji danych oraz redakcję naukową tekstu.

Osoby badane

W badaniach wzięło udział 15 osób: 10 instruktorek ZHR w wieku 18–24 (pełniących różne funkcje, np. drużynowej, hufcowej) oraz 5 członkiń ZHR (harcerek i wędrowniczek w wieku 15–17 lat). Respondentki reprezentowały różne środowiska harcerskie – ośrodki o zróżnicowanej

wielkości – zlokalizowane w różnych regionach Polski (od wsi po duże miasta).

Metody

Badania miały charakter jakościowy (Flick, 2024). Zastosowano w nich technikę wywiadu częściowo ustrukturyzowanego, co pozwoliło dotrzeć do doświadczeń uczestniczek projektu i poznać ich refleksje na temat turystyki jako narzędzia wychowawczego, a także uchwycić ich emocje i postawy. Narzędziem badawczym był autorski kwestionariusz wywiadu, a pytania koncentrowały się wokół turystyki w ZHR, kształtowania umiejętności, wartości oraz relacji w grupie.

Zastosowano celowy dobór próby, aby uzyskać bogatą i zróżnicowaną perspektywę. Materiał badawczy stanowiło 15 wywiadów (narracyjnych i ukierunkowanych): 10 pozyskano od instruktorek ZHR, a 5 od harcerzek i wędrowniczek.

Wywiady przeprowadzono na przełomie maja i czerwca 2025 r. Odbywały się one stacjonarnie lub w formie online. Trwały od 20 min do 60 min. Badania były w pełni anonimowe. Respondentki wyraziły zgodę na udział w nich. W przypadku osób niepełnoletnich zgodę musieli wyrazić rodzice lub opiekunowie prawni. Wypowiedzi były rejestrowane w formie audio, co pozwoliło na ich rzetelną analizę.

Zgromadzony materiał poddano analizie zgodnie ze współczesnymi standardami jakości badań jakościowych (Flick, 2024). Zarejestrowane wywiady zostały odsłuchane i zredukowane do kluczowych wypowiedzi, z których wyodrębniono główne kategorie analityczne. Kodowanie polegało na grupowaniu wypowiedzi wokół powtarzających się motywów, takich jak rozwijane kompetencje miękkie (np. samodzielność, odpowiedzialność), dynamika relacji uczestnik–kadra, najczęstsze formy turystyki oraz świadomość planowania wyjazdów.

WYNIKI

Analiza wywiadów potwierdziła, że turystyka w ZHR nie jest wyłącznie formą rekreacji, lecz jest też postrzegana jako celowe narzędzie wychowawcze wykorzystywane przez kadrę instruktorską do osiągania określonych celów metodycznych (Kupisiewicz, 2012). Zgromadzony materiał pozwala na wyodrębnienie trzech głównych kategorii, takich jak narzędzie metodyczne, kształtowane kompetencje oraz relacje wychowawcze.

Turystyka jako narzędzie metodyczne

Instruktorzy harcerscy podchodzą do organizacji wyjazdów turystycznych strategicznie, traktując je jako fundamentalne narzędzie metodyczne w pracy drużyny (Hajduk, 2007). Z przeprowadzonych wywiadów jasno wynika, że proces planowania wyjazdu rozpoczyna się od diagnozy potrzeb grupy i ustalenia celów wychowawczych, a dopiero w kolejnym kroku dobierane są do nich adekwatne formy aktywności turystycznej. Jak podkreśla jedna z badanych instruktorek (19 lat, drużynowa harcerek): „Dobiera się formy do celów, a nie na odwrót. Trzeba zrobić refleksję nad obecnym działaniem jednostki, wypisać mocne strony i słabe strony. Mocne strony poszerzać, słabe strony zwalczać dzięki celom wychowawczym”. Inna respondentka (24 lata, hufcowa) dodaje: „Komendantka jednostki zastanawia się nad celami, które ma dla danej grupy, które wynikają bezpośrednio z jej charakterystyki, a następnie dobiera formy, które uważa za słuszne w realizacji tych celów, np. właśnie w postaci turystyki”. Proces planowania wyjazdów to dla kadry element długofalowej strategii, co potwierdza wypowiedź kolejnej instruktorki (21 lat, drużynowa harcerek): „Tworzymy to poprzez pisanie planów pracy [...]. Cele mają być pod naszych wychowanków, ale mają być też właśnie związane z celami rocznymi”. Z wywiadów wynika, że instruktorki świadomie dobierają formę wyjazdu turystycznego oraz podział zadań w grupie, tak aby optymalnie zrealizować określony wcześniej cel wychowawczy, o czym świadczy odpowiedź o organizacji spływu: „Tak, spływ kajakowy w parach z osobami, które powinny ze sobą współpracować, by lepiej się poznać”. Tego typu podejście doskonale wpisuje się w postulaty edukacji nieformalnej oraz celowości procesu dydaktyczno-wychowawczego.

Kształtowanie kompetencji i postaw

Turystyka stanowi naturalne środowisko rozwoju harcerzy i harcerek, umożliwiając im naukę poprzez działanie i doświadczenie w warunkach innych niż te, w których przebywają na co dzień (Robinson i wsp., 2020). Respondentki wskazywały, że konieczność radzenia sobie w warunkach odmiennych od codziennych stymuluje zaradność, odwagę i poczucie odpowiedzialności. Wypowiedź 15-letniej przybocznej doskonale to obrazuje: „Turystyka uczy odpowiedzialności, bo każdy ma swoje zadania. Ktoś niesie apteczkę, ktoś mapę, ktoś pilnuje czasu. Jeśli ktoś czegoś zapomni

albo się spóźni, to wpływa to na całą grupę. A samodzielności uczymy się na przykład wtedy, gdy trzeba samemu spakować plecak, ugotować coś w warunkach polowych albo podjąć decyzję w trudnej sytuacji”.

Instruktorzy dostrzegali również wpływ turystyki na rozwój kompetencji i postaw jej uczestników. Dwudziestodwuletnia drużynowa wędrowniczek podsumowuje to słowami: „Nic tak nie uczy samodzielności jak noc w namiocie w deszczu albo odpowiedzialności jak dyżur kuchenny dla całego obozu. To, co dziewczyny przeżyją w terenie, zostaje z nimi na dłużej niż jakakolwiek pogadanka na zbiórce”. Inna instruktorka (21 lat, drużynowa harcererek) dodaje: „Wyjazdy wzmacniają charakter. Wysiłek, niewygodą, zmęczenie to wszystko hartuje i uczy, że warto działać mimo trudności”. O wartości płynącej z przezwyciężania trudności i budowania zaufania wspomina też jedna z wędrowniczek (15 lat): „Moim zdaniem turystyka w drużynie wychowuje nas przez wyzwania, uczy odpowiedzialności, planowania, współpracy i wytrwałości. Kiedy idziemy razem w góry

Tabela 1. Kluczowe wartości i kompetencje rozwijane podczas wyjazdów turystycznych w opinii badanych (na podstawie wywiadów)

Wartość/ kompetencja	Przykłady stymulowania rozwoju w praktyce harcerskiej
Samodzielność i zaradność	samodzielne pakowanie ekwipunku, planowanie wyżywienia i gotowanie w warunkach polowych, orientacja w nieznanym terenie (np. nawigacja z mapą), radzenie sobie z sytuacjami kryzysowymi i organizacja noclegu
Odpowiedzialność	branie odpowiedzialności za powierzone zadania organizacyjne (np. noszenie apteczki, pilnowanie czasu, kwatermistrzostwo), podejmowanie decyzji wpływających na bezpieczeństwo własne i całego zastępu w niekorzystnych warunkach (np. zmęczenie, zła pogoda)
Współpraca i braterstwo	współodpowiedzialność za przebieg wyjazdu, wykonywanie zadań podczas gier terenowych (wymagających mobilizacji całego patrolu), wspieranie się na szlaku, integracja z nowo przyjętymi członkami jednostki
Otwartość i empatia	przełamywanie barier w kontaktach z rówieśnikami, uwrażliwienie na psychiczne i fizyczne potrzeby słabszych uczestniczek wyjazdów, budowanie relacji z lokalną społecznością podczas zwiadów miejskich, zdobywanie umiejętności przywódczych

albo śpimy pod namiotem, musimy na sobie polegać”. W konfrontacji z literaturą przedmiotu wypowiedzi te stanowią idealną egzemplifikację założeń pedagogiki przeżycia (ang. *experiential education*) oraz edukacji outdoorowej, w której wyjście poza strefę komfortu w niecodziennym środowisku przyrodniczym jest inicjatorem trwałej zmiany postaw i rozwoju kompetencji miękkich, co szczegółowo zestawiono w tabeli 1.

Uczestniczki badań jednoznacznie wskazały, że doświadczenia zdobyte na wyjazdach trwale je zmieniły, czyniąc bardziej zaradnymi, odważnymi i gotowymi podejmować życiowe wyzwania. Píše o tym 16-letnia wędrowniczka: „Wyjazdy ukształtowały we mnie chęć poznawania świata i podejmowania wyzwań, ale też pomogły w kształtowaniu [...] samodzielności, zaradności, odpowiedzialności, wytrwałości, otwartości”. Z kolei 17-letnia przyboczna dodaje: „[...] dzięki nim stałam się bardziej zaradna i samodzielna. Zdobyłam też wiele różnych przydatnych umiejętności i wielu przyjaciół”. Co niezwykle istotne, tę samą ścieżkę rozwoju dostrzega u siebie starsza kadra. Jak przyznaje 24-letnia instruktorka, pełniąca funkcję hufcowej: „Wyjazdy sprawiły, że [...] nie boję się brać odpowiedzialności, jestem bardziej odważna i gotowa podejmować wyzwania”.

Relacja kadra–młodzież

Analiza przeprowadzonych wywiadów pozwoliła wykazać, że wyjazdy turystyczne pełnią istotną funkcję w budowaniu relacji wychowawczych między kadrami a wychowankami. Konieczność dłuższego przebywania ze sobą w terenie i wspólnego pokonywania trudności sprawia, że formalny dystans, tak charakterystyczny np. dla instytucji szkolnych, zaciera się. Instruktorka prowadząca wędrowniczki przedstawia, na czym polega taka relacja: „Na wyjeździe nie ma miejsca na sztuczne dystanse – wędrowniczki widzą, że też myję menażkę, też noszę wodę i też wstaję o piątej na wartę. Relacja staje się bardziej partnerska, chociaż autorytet nadal istnieje – tylko oparty na przykładzie, nie rozkazie”. Potwierdza to 21-letnia drużynowa harcerzek z wieloletnim stażem: „Relacja pomiędzy kadrami a młodzieżą jest to relacja przełożony–uczestnik, ale opiera się na braterstwie i siostrzeństwie, co odróżnia nas od wychowania w szkole. Jesteśmy trochę jak starsze rodzeństwo”. Co istotne, w ten sam sposób relacje z kadrami odbierają same harcerki. Szesnastoletnia wędrowniczka z Podkarpacia zauważa, że wyjazdy dają przestrzeń do współpracy w grupie i budują specyficzną więź z instruktorami: „[...] w momentach powagi widać tę różnicę pozio-

mów i jest to ważne, żeby czuć do tych osób autorytet, jednak w codziennej pracy bardzo przyjemnie się pracuje bez poczucia niższości”. Wspólne przeżycia budują pełne zaufanie i otwierają przestrzeń do pogłębionej komunikacji. Turystyka w harcerstwie realizuje tym samym postulat podmiotowości w wychowaniu, w którym wychowawca staje się towarzyszącym w rozwoju, doświadczonym partnerem.

DYSKUSJA

Przedstawione wyniki badań wskazują, że turystyka w ZHR realizuje założenia edukacji nieformalnej oraz charakteryzuje się wysokim poziomem procesu wychowawczo-dydaktycznego. Wypowiedzi respondentek okazały się zgodne z założeniami edukacji outdoorowej (Bąk i wsp., 2014; Palamer-Kabacińska i Leśny, 2012) oraz pedagogiki przeżycia i wpisują się w szeroką typologię działań edukacyjnych poprzez przygodę (Woźniak, 2016). Kluczowym elementem łączącym te nurty jest wyjście uczestników poza strefę komfortu w niecodziennym środowisku przyrodniczym, co stanowi główny motor trwałej zmiany postaw i rozwoju kompetencji miękkich.

Analiza zgromadzonego materiału badawczego pozwala na sformułowanie kilku istotnych wniosków osadzonych w teorii wychowania. Na uwagę zasługuje przede wszystkim wysoki poziom świadomości metodycznej kadry ZHR. Opisane przez respondentki strategiczne podejście do planowania wyjazdów, polegające najpierw na diagnozie problemów grupy, a dopiero później na doborze odpowiedniej formy (np. spływu kajakowego), udowadnia, że klasyczne założenia dydaktyki ogólnej znajdują w harcerstwie pełne odzwierciedlenie w praktyce (Kupisiewicz, 2012). Działania terenowe nie są przypadkowe, lecz stanowią wyraz głębokiego zrozumienia celowości procesu wychowawczego (Palamer-Kabacińska, 2022).

Turystyka w harcerstwie realizuje także postulat podmiotowości w wychowaniu, w którym wychowawca staje się towarzyszącym w rozwoju, doświadczonym partnerem. Deklarowana przez badane relacja „starszego rodzeństwa” to fenomen stanowiący specyfikę metody harcerskiej (Śliwerski, 2019). Zmiana środowiska na plenerowe skutecznie znosi sztuczne bariery hierarchiczne tak charakterystyczne dla tradycyjnej edukacji formalnej. Wyjazdy turystyczne kształtowały postawy życiowe nie tylko młodszych uczestniczek, ale w równym stopniu wpływały na kadrę, wpisując się w kluczowe koncepcje pedagogiki przygody, w której proces uczenia się ma charakter ciągły, a wyzwania związane z działaniami w terenie służą

ewaluacji własnych możliwości niezależnie od wieku i pełnionej funkcji (Palamer-Kabacińska, 2021).

OGRANICZENIA

Ograniczenia wynikają z doboru próby. Grupa instruktorska była zróżnicowana, jednak młodzież stanowiły wyłącznie dziewczęta, które były harcerkami i wędrowniczkami w jednostkach harcerek lub wędrowniczek. Wnioski zawarte w pracy odzwierciedlają przede wszystkim specyfikę organizacji harcerek działającej w strukturach ZHR i nie powinny być bezkrytycznie uogólniane na całą młodzież działającą w Związku, w tym organizację harcerzy (pion męski).

WNIOSKI

Turystyka w ZHR nie jest traktowana wyłącznie jako forma rekreacji, ale stanowi kluczowe i celowo stosowane narzędzie metodyczne. Instruktorzy świadomie wykorzystują ją do realizacji założeń wychowawczych, promując w ten sposób naukę przez działanie i bezpośrednie doświadczenie (Śliwerski, 2015).

Aktywność turystyczna, poprzez stawianie uczestniczek projektu w sytuacjach niecodziennych i wymagających, skutecznie rozwijała ich kluczowe kompetencje, takie jak samodzielność, poczucie odpowiedzialności za siebie i grupę, zaradność, umiejętność planowania i współpracy. Umiejętności te przekładają się bezpośrednio na radzenie sobie z wyzwaniami w życiu codziennym

Wspólne wyjazdy (zwłaszcza te o przedłużonym czasie trwania) sprzyjają budowaniu głębokich więzi w grupie. Jednocześnie transformują relację na linii kadra–uczestniczki – zmniejszają sztuczny dystans, budują partnerstwo oparte na autentycznym zaufaniu, dialogu i osobistym przykładzie instruktora, a nie wyłącznie na rozkazie.

Ze względu na skład badanej próby, którą stanowiły wyłącznie instruktorki, harcerki i wędrowniczki, przedstawione wnioski odzwierciedlają przede wszystkim specyfikę pracy wychowawczej w organizacji harcerek (pion żeński). Choć mechanizmy pedagogiki przeżycia mają charakter uniwersalny, uogólnienie uzyskanych wyników na całą młodzież w ZHR (w tym pion męski) wymagałoby podjęcia badań uzupełniających.

Biorąc pod uwagę wysoką skuteczność omawianych metod, rekomenduje się dalsze wspieranie i promowanie turystyki jako elementu wychowania w ZHR. Szczególny nacisk w szkoleniu kadry instruktorskiej należy położyć na jakość i świadome planowanie wyjazdów (w tym dobór odpowiednich form turystyki do precyzyjnie określonych celów wychowawczych danej jednostki).

BIBLIOGRAFIA

- Bąk, A., Leśny, A., Palamer-Kabacińska, E. (red.) (2014). *Przygoda w edukacji i edukacja w przygodzie. Outdoor i Adventure Education w Polsce*. Warszawa: Fundacja Pracownia Nauki i Przygody.
- Flick, U. (red.) (2024). *The Sage Handbook of Qualitative Research Quality*. London: Sage Publications.
- Hajduk, Ł. (2007). Metoda harcerska w wychowaniu. *Horyzonty Wychowania*, 6(11), 251–258.
- Kupisiewicz, C. (2012). *Podstawy dydaktyki ogólnej*. Warszawa: WN PWN.
- Palamer-Kabacińska, E. (2021). *Pedagogika przygody a harcerstwo. Studium teoretyczne*. Warszawa: UW.
- Palamer-Kabacińska, E. (2022). Pedagogika przygody w harcerstwie w opiniach instruktorów harcerskich. *Kwartalnik Pedagogiczny*, 67(1), 71–91, <https://doi.org/10.31338/2657-6007.KP.2022-2.4>.
- Palamer-Kabacińska, E., Leśny, A. (red.) (2012). *Edukacja przygodą. Outdoor i Adventure Education w Polsce: teoria, przykłady, konteksty*. Warszawa: Pracownia Nauki i Przygody.
- Płocka, J. (2009). *Turystyka. Wybrane zagadnienia*. Toruń: Escape Magazine.
- Robinson, P., Lück, M., Smith, S.L.J. (2020). *Tourism*. 2nd ed. Cabi Publishing.
- Skotnicki, W.J. (2021). *Wychowanie w skautingu–harcerstwie*. Toruń: Jagielloński Instytut Wydawniczy.
- Sutkowska, A. (2025). *Turystyka jako element wychowania młodzieży w Związku Harcerstwa Rzeczypospolitej (ZHR)*. Praca dyplomowa licencjacka. Wrocław: AWF.
- Śliwerski, B. (2015). Nauki o wychowaniu a pedagogika. *Nauki o Wychowaniu. Studia Interdyscyplinarne*, 1(1), 14–41.
- Śliwerski, B. (2019). Wyjątkowość fenomenu harcerskiego wychowania. *Interdyscyplinarne Konteksty Pedagogiki Specjalnej*, 21, 13–30, <https://doi.org/10.14746/ikps.2018.21.02>.
- Śliwerski, B. (2020). *Pedagogika holistyczna. Studium z perspektywy metanauk społecznych*. Tom 1. Warszawa: APS im. Marii Grzegorzewskiej.
- Woźniak J. (2016). Typologia działań edukacyjnych przez przygodę. *Kwartalnik Pedagogiczny*, 2(240), 115–133.
- ZHR, Związek Harcerstwa Rzeczypospolitej (2023). *Statut Związku Harcerstwa Rzeczypospolitej*. Warszawa.

ABSTRACT

Role of tourism in shaping attitudes and competences among youth
in the Polish Scouting Association

Introduction. The study was designed to assess the role of tourism as a component of the educational process in the Polish Scouting Association (ZHR) and its impact on the development of attitudes and competences among youth.

Material. The research material consisted of 15 interviews with members of the Polish Scouting Association (ZHR). The study group comprised 10 instructors in educational roles (e.g. troop leaders, district leaders) and 5 female scouts and senior scouts aged 15–17 years. **Methods.** A qualitative method was employed, with the analysis based on 10 interviews with female ZHR instructors and 5 interviews with female scouts and senior scouts from various regions of Poland.

Results. The analysis demonstrated that tourism within the Polish Scouting Association (ZHR) is regarded as a strategic methodological instrument. Instructors design trips by aligning activities (e.g. kayaking excursions, quartermaster responsibilities) with specific educational objectives, such as practising cooperation and responsibility. Visits to sites of national remembrance contribute to the development of patriotic attitudes. Tourism facilitates learning through experience in contexts distinct from everyday life. **Conclusions.** Tourism plays a key educational role in the Polish Scouting Association (ZHR), serving as a consciously applied methodological instrument. It facilitates learning through action and experience, fostering in young people such competences as resourcefulness, responsibility, independence and the ability to cooperate. Extended trips play a particularly significant role in the educational process.

Keywords: tourism, education, scouting, Polish Scouting Association (ZHR)

Adres do korespondencji
e-mail: ola.sutkowski321@gmail.com