



AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO  
JÓZEFA PIŁSUDSKIEGO W WARSZAWIE

Redakcja

Czesław Urbanik  
Andrzej Mastalerz  
Dagmara Iwańska

## Praktyczne aspekty biomechaniki w sporcie i rehabilitacji

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego  
w Warszawie

**PRAKTYCZNE ASPEKTY  
BIOMECHANIKI W SPORCIE I REHABILITACJI**

Pod redakcją  
**Czesław Urbanik**  
**Andrzej Mastalerz**  
**Dagmara Iwańska**

Warszawa, 2024

## **KOMITET REDAKCYJNY**

Przewodniczący: dr hab. prof. AWF Artur Kruszewski  
Członkowie: dr hab. prof. AWF Jan Gajewski  
dr Piotr Majdak  
dr hab. Michał Lenartowicz  
dr hab. prof. AWF Natalia Morgulec-Adamowicz

### **Recenzenci**

Dagmara Iwańska  
Wanda Forczek-Karkosz  
Tomasz Niżnikowski  
Andrzej Mastalerz  
Anna Mazurkiewicz  
Piotr Tabor  
Tomasz Tokarski  
Czesław Urbanik

## **Studia i Monografie nr 185**

Wydanie I

**ISBN 978-83-67228-39-8**

©Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie  
Wszystkie prawa zastrzeżone.

Przedruk i reprodukcja w jakiegokolwiek postaci całości lub części książki bez pisemnej  
zgody wydawcy są zabronione.

### **Projekt okładki**

Waldemar Dorcz

### **Projekt akwareli**

Agnieszka Wiśnicka

### **Redakcja techniczna**

Dagmara Iwańska

### **Korekta językowa**

Elżbieta Gromulska

# SPIS TREŚCI

## Rozdział I

<b>BIOMECHANIKA W MEDYCYNIE: ZAGADNIENIA PRAKTYCZNE</b> .....	4
1. Biomechaniczne aspekty w usprawnianiu osób po amputacji z krótkim kikutem na poziomie uda – M. ZACZYK .....	5
2. Wpływ wysiłku fizycznego o różnej intensywności na poziom neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego – M. JOHNE .....	23
3. Urazy narządu ruchu zawodników uprawiających sport wyczynowo w dyscyplinach wytrzymałościowych – D. POLISZCZUK, T. POLISZCZUK .....	35
4. Wpływ genów układu dopaminergicznego i serotonergicznego na chęć podejmowania ryzyka u zawodników sportów walki – A.M. TYBURA, A. CZAJKOWSKA .....	55

## Rozdział II

<b>BIOMECHANIKA W SPORCIE: ZAGADNIENIA PRAKTYCZNE</b> .....	66
5. Różnice w mechanicznych zmiennych wyskoku CMJ pomiędzy kobietami i mężczyznami – Cz. URBANIK .....	67
6. Stabilność i powtarzalność techniki ruchu w zależności od długości rozbiegu (skróconego – normalnego) w skoku o tyczce – J. MASTALERZ .....	81
7. Zakres ruchu w stawach kończyn dolnych i górnych tancerek różnych stylów – T. POLISZCZUK, M. EFIR .....	90
8. Charakterystyka fizjologiczna biegaczy ultramaratonów w porównaniu do mężczyzn nieaktywnych fizycznie – A. MRÓZ, K. WITEK .....	111
9. Stabilność posturalna w okresie startowym zawodników uprawiających zapasy – T. POLISZCZUK, W. CZAJKA .....	128
10. Efekt treningu łyżwiarstwa figurowego na równowagę ciała w warunkach wzrokowego sprzężenia zwrotnego u łyżwiarek figurowych w wieku 10-14 lat – A. DĄBROWSKA-FARBIŚ .....	146
11. Wspomnienia o twórczości Prof. Kazimierza Fidelusa – Cz. URBANIK.....	156

**Rozdział I**

**BIOMECHANIKA W MEDYCYNIE**  
**ZAGADNIENIA PRAKTYCZNE**

## **Biomechaniczne aspekty w usprawnianiu osób po amputacji z krótkim kikutem na poziomie uda**

### **Biomechanical aspect in the development in therapy of amputees with a short stump at thigh level**

**M. ZACZYK**

Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki  
e-mail: marcin.zaczyk@pw.edu.pl

**Słowa kluczowe:** *biomechanika kikuta, kikut krótki uda, usprawnianie po amputacji kończyny, rehabilitacja kikuta*

#### **1. Wstęp**

Przedstawiona praca pokazuje problematykę zaopatrzenia protetycznego w aspekcie biomechaniki osadzenia protezy na nowo powstałym kikucie po amputacji na poziomie uda. Analizowano jakość osadzenia protezy na bardzo krótkim i krótkim kikucie. Ten typ kikuta stanowi niekorzystny wariant przy usprawnianiu pacjenta po amputacji zarówno od strony procesu rehabilitacji po zabiegu amputacji jak i po przyszłe usprawnianie pacjenta za pomocą protezy kończyny dolnej. Obecnie amputacje wykonywane są na skutek chorób naczyniowych lub w następstwie obszernych urazów mechanicznych narządu ruchu człowieka. Kikut powstały w wyniku odjęcia fragmentu narządu z układu ruchu człowieka sprawia, że powstają nowe uwarunkowania fizjologiczne i biomechaniczne w narządzie ruchu [Zaczyk 2023, Maciąg i Danielewska 2024, Yoo i wsp. 2022]. Zmiany te dotyczą całego układu ruchu, w szczególności obejmują nowo powstały segment, jakim jest kikut. Po zabiegu pojawia się nowy remodeling powstałego kikuta zarówno w obszarze tkanek miękkich jak i układu kostnego oraz układu ruchu. W wyniku amputacji pojawiają się zaburzenia w bilansie mięśniowym na skutek utraty przez niektóre mięśnie przyczepów. Stan ten jest jedną z głównych przyczyn niekorzystnych przykurczy i ograniczenia ruchomości w stawie.

Powstały przykurcz nosi nazwę przykurczu dyskinetycznego [Miller i wsp. 2021, Curyło i wsp. 2021]. Do zmian tych dochodzi w przypadku porażenia lub osłabienia jednej grupy mięśni (agonistycznej), a przy zachowanym działaniu antagonistycznej grupy mięśni. Mięśnie porażone lub osłabione, nie mogą się kurczyć, stają się nierównym partnerem dla swoich antagonistów. Te z kolei na skutek braku bodźca i siły do ich pełnego rozkurczu i rozciągania ulegają przykurczowi. Mięśnie zaś porażone lub osłabione ulegają rozciągnięciu. Mięsień osłabiony, a więc działający, ale o mniejszej sile, na skutek znacznej przewagi swoich antagonistów i ich przykurczeniu może ulec rozciągnięciu i przejść w stan porażenia. Mówimy wówczas o tzw. porażeniu czynnościowym, gdyż nie powstało ono na skutek zmian w układzie nerwowym,

a z powodu zaburzeń czynności mięśni [Horne i wsp. 2018, May 1964, Zaczyk i Jasińska-Chromańska 2021]. Podobna sytuacja zaistnieje w przypadku amputacji kończyny dolnej na poziomie uda, kiedy jedno z grup mięśniowych traci przyczepę, co powoduje osłabienie ich wydolności. Naruszenie tej równowagi powoduje stan trwałego skurczu dominującej grupy mięśniowej, która w późniejszym etapie jeszcze bardziej się przykurcza. Przykurcz mięśni niepozwalający na wykonanie ruchu w stawie o pełnym zakresie może doprowadzić do obkurczenia się torebki, więzadeł i tkanek miękkich otaczających staw. Amputacje w obrębie stawu biodrowego mogą generować utratę pełnej ruchomości w stawie biodrowym, pomimo że geometria układu miednica-nasada bliższa kości udowej na to pozwalają i są pozbawione zwyrodnień. Przy braku prawidłowej interwencji leczniczej i rehabilitacyjnej proces naturalnego remodelingu nowo powstałego segmentu (kikuta) narządu ruchu postępuje w niekorzystnym kierunku, zwężając szczelinę stawową, której skutkiem może być pełne usztywnienie włókniste lub kostne [Schon i wsp. 2002]. Wyeliminowanie tych niekorzystnych zjawisk realizuje się przez wprowadzenie odpowiedniej rehabilitacji oraz za sprawą dobrania odpowiedniego zaopatrzenia protetycznego. Zaopatrzenie protetyczne w postaci dobranej protezy wymagać będzie odpowiedniego zamocowania na kikucie. Jakość zamocowania protezy do ciała pacjenta musi spełnić określone wymagania zarówno biomechaniczne jak i fizjologiczne, aby zachować wysoki komfort użytkownika protezy przez użytkownika [Maciąg i Danielewska 2024, Miller i wsp. 2017, Traballes i wsp. 2012].

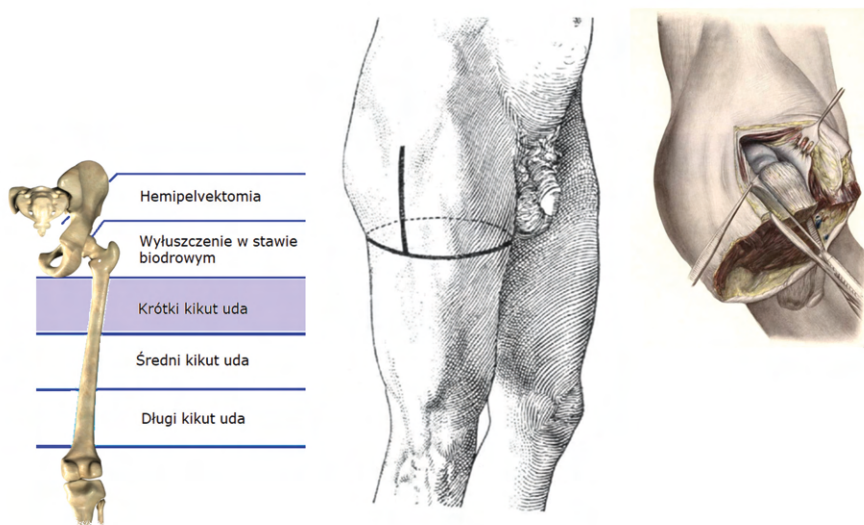
W poniższej pracy skupiono się na analizie mocowania protezy na krótkim i bardzo krótkim kikucie po amputacji kończyny dolnej na poziomie uda oceniając uwarunkowania biomechaniczne dla różnych technik osadzenia protezy na krótkim kikucie uda. Osadzenie protezy na kikucie realizowane jest za pomocą leja protezowego. Lej protezowy może występować w formie leja kontaktowego lub pełnokontaktowego [Li i wsp. 2018]. W pracy skupiono się na ocenie mocowania protezy opartej na lejach pełnokontaktowych wyposażonymi w liner'y silikonowe i żelowe.

## 2. Materiał

Przedmiotem analizy jest technika mocowania protezy kończyny dolnej na krótkim kikucie przy amputacji na poziomie uda, u pacjentów u których amputacja nastąpiła w wyniku chorób naczyniowych oraz w wyniku obszernego urazu narządu ruchu (Ryc. 1). Praca obejmuje mocowanie protezy transfemoralnej na kikucie w początkowym okresie usprawniania pacjenta po amputacji fizjologicznej.

Amputacja fizjologiczna polega na prawidłowym obcięciu końcówki kostnej, w której kikut kostny jest krótszy od kikuta mięśniowego. Szczyt kikuta kostnego, w trakcie zabiegu zabezpieczany jest okostną. Amputacja fizjologiczna oprócz powyższych cech uwzględnia również przytwierdzenie antagonistycznych grup mięśniowych do końcówki kostnej [Mioton i wsp. 2020, Aternali i Katz 2019]. Zaprotezowanie kikuta następuje na stole operacyjnym lejem gipsowym

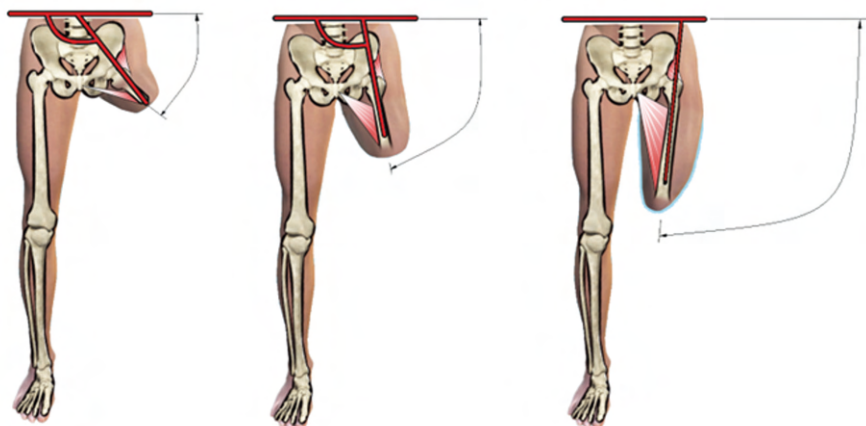
z unieruchomieniem stawu powyżej amputacji. Czynność ta ma na celu prawidłowe uformowanie zoperowanego kikuta. W pracy skupiono się na krótkim kikucie uda, który powstaje w wyniku amputacji przez kość udową z zachowaniem mniej niż 35% jej długości [Folch i wsp. 2022]. Zabiegi te występują najczęściej w wyniku powikłań urazowych. Amputacja ta kończy się zaplanowaniem i przeprowadzeniem odpowiedniego cyklu rehabilitacyjnego dla stworzenia warunków do jak najlepszego wykorzystania możliwości biomechanicznych, przy małym wydatku energetycznym.



**Ryc. 1** Amputacja fizjologiczna z krótkim kikutem jako przedmiot analizy badań.

Po amputacji na skutek przecięcia, a następnie zszycia naczyń zaburzony zostaje naturalny obieg krwi i płynów fizjologicznych. Zaburzona cyrkulacja płynów ustrojowych, jak również obrzęk pooperacyjny sprawiają, iż kikut w tym czasie ma tendencję do zmiany swojej objętości [Segal i wsp. 2021]. Pod wpływem grawitacji w dole kikuta gromadzą się płyny ustrojowe. Organizm osoby amputowanej po zabiegu stopniowo zaczyna sobie radzić z „wypompowaniem” tych płynów ku górze, dzięki rosnącej aktywności pozostałych mięśni kikuta (tzw. pompy mięśniowej). W pierwszych godzinach po amputacji pozycja leżąca jest pozycją korzystną dla kikuta, gdyż pozycja leżąca ciała sprzyja łatwiejszemu przetaczaniu części zalegających płynów w kikucie na skutek innego kierunku działania sił grawitacji. Finalnie obrzęk kikuta zmniejsza się, kiedy objętość i poszczególne obwody kikuta się stabilizują. W momencie, gdy pacjent znów wstanie, sytuacja się powtarza, płyny ustrojowe spływają w dół, a kikut powiększa swoją objętość. Dla ustabilizowania zmian objętości kikuta wprowadza się możliwie wcześniej proces rehabilitacji i hartowania kikuta [Macią i Danielewska 2024, Gunduz i wsp. 2021, Mark i wsp. 2015]. Hartowanie jest wykonywane w celu wyeliminowania lub zminimalizowania fizycznych, lub psychologicznych reakcji na bodziec. W przypadku amputacji kikut

jest bardzo wrażliwy po operacji, co wymaga procedur odczulania, które mogą obejmować delikatny masaż, lekkie stukanie, wibracje, stały nacisk i nakładanie różnych tkanin na wrażliwy obszar [Silviera i Ferreira 2016]. Formowanie-modelowanie kikuta staje się najważniejszym elementem programu rehabilitacji przed założeniem protezy, ponieważ niewłaściwe obkurczanie i modelowanie może pogorszyć krążenie krwi i gojenie się rany. Metody obkurczania i kształtowania obejmują zastosowanie miękkich, półsztywnych lub sztywnych opatrunków, a także wykonanie dopasowanego leja protezowego tymczasowej protezy. Lej tymczasowej protezy ma pewną tolerancję zmian obwodowych kikuta, lecz sama fizjologia tu nie wystarczy i należy zastosować jedną z metod formowania kikuta, aby bez problemu korzystać w przyszłości z protezy. Trwałe zaleganie płynów w dole kikuta może doprowadzić do patologicznego zgrubienia zwanego kolbowatością, która czyni kikut niemożliwym do wygodnego zaprotezowania. Zaopatrzenie protetyczne przy amputacjach na poziomie uda stanowi proteza udowa. W niektórych przypadkach stosowana jest dodatkowo do stabilizacji szyna biodrowa lub łuk biodrowy. Podczas chodzenia znacznie obniżona jest funkcjonalność narządu ruchu. W większości przypadków powstaje przykurcz zgięciowy, dochodzi do rotacji i odwiedzenia kikuta na zewnątrz [Miller i wsp. 2021, Brassolatti i Andrade 2018] (Ryc. 2).



**Ryc. 2** Efekty finalnego usytuowania kikuta po amputacji w zależności od jego długości (kikut krótki, kikut średniej długości, kikut długi).

Przy wykonaniu mocowania protezy uda do ciała z krótkim kikutem zapewniając wszystkie potrzebne uwarunkowania biomechaniczne i fizjologiczne, konieczne jest zastosowanie odpowiedniej techniki osadzenia protezy na układzie ruchu pacjenta. Jedną z technik osadzenia protezy w układzie ruchu jest osadzenie oparte o zindywidualizowany lej protezowy. Drugą spotykaną metodą jest osadzenie osteointegracyjne, które wykorzystuje zamocowany implant kostny osadzony w kości narządu ruchu do mocowania protezy.

Lej protezowy wykonany w zakładzie ortopedycznym jest dokładnym odwzorowaniem kształtu kikuta, a tendencja kikuta do zmiany swojej objętości stanowi

jeden z największych problemów w protezowaniu. W pracy przedstawiono analizę rozwiązań, dla których wykonano indywidualne leje protezowe pełnokontaktowe. Oprócz leja pełnokontaktowego można spotkać leje podciśnieniowe, miotoniczne. W lejach podciśnieniowych stabilność osiową kikuta osiąga się przez przyssanie jego końca do stanowiącej przedłużenie leja komory podciśnieniowej, stwarzającej nieprzerwaną siłę ssącą działającą na tkanki miękkie kikuta. W lejach pełnokontaktowych przylegających na całej powierzchni bez komory podciśnieniowej powstają cyklicznie siły przyssania na przemian z okresami wzmożonego ciśnienia między skórą a ścianą leja. W lejach o działaniu miotonicznym – stabilizacja zapewnia mechaniczny docisk powierzchni ciała do ścian leja pod wpływem kurczących się brzuśców mięśniowych kikuta.

W rozwiązaniach podciśnieniowych siła ssąca powstaje w komorze o pojemności 120-140 cm<sup>3</sup>, zaopatrzonej w jednokierunkowy wentyl wypuszczający nadmiar powietrza przy każdym obciążeniu, co zmienia ciśnienie w komorze od +40 g/cm<sup>2</sup> do 115 g/cm<sup>2</sup> w fazie wykroku protezy. Siła ta, nieszkodliwa u ludzi młodych i dynamicznych ze sprawnym narządem krążenia, w chorobach naczyniowych oraz u ludzi starszych i z niewydolnością krążenia często stwarza poważne powikłania. Są to występujące pod wpływem stałego zasysania przez komorę podciśnieniową: obrzęki, zasinienia, a nawet martwice obrączkowe wzdłuż brzegu leja i komory oraz głębokie martwice tkanek miękkich z niedokrwienia i owrzodzenia troficzne, zmuszające do reamputacji na wyższym poziomie.

W rozwiązaniach pełnokontaktowych niewyzwalających pomimo wentyla nieprzerwanej siły ssącej zastąpionej okresowymi wahaniami ciśnienia od 100 g/cm<sup>2</sup> do 150–200 g/cm<sup>2</sup> w minimalnej przestrzeni między skórą a ścianą leja, znikającej zupełnie w fazie obciążenia nie ma w zasadzie warunków do pogarszania krążenia. Przeciwnie, cykliczne obciążenia dynamiczne tkanek miękkich przenoszone na układ naczyniowy stwarzają rodzaj dodatkowej pompy tętniczo żyłnej, poprawiającej krążenie w obrębie kikuta osłabione skutkiem procesu chorobowego. Nie ma, więc możliwości powikłań nawet w chorobach naczyniowych oraz w niewydolności krążenia, co predysponuje leje pełnokontaktowe do najszerszego stosowania. Nie stanowią one żadnego niebezpieczeństwa i nie ma praktycznie przeciwwskazań do ich stosowania [Brassolatti i Andrade 2018, Houreld 2014].

W rozwiązaniach miotonicznych stabilizowanych siłami mechanicznego docisku powierzchni kikuta do leja w wyniku napięcia mięśniowego istnieje pewien stopień ucisku na system naczyniowy. Należy, więc ograniczyć stosowanie tego typu lejów wyłącznie do osób młodych i dynamicznych, z silnym układem mięśniowym i bez nadmiaru tkanki tłuszczowej, wytrzymujących okrężny nacisk leja na powierzchnię kikuta bez przykrości i powikłań. Konieczne jest też utrwalenie kształtu kikuta, który nie powinien mieć tendencji do obrzęków i zmian objętości, mogących w krótkim czasie zmieniać warunki dopasowania leja. Dlatego jest to rozwiązanie o ograniczonych wskazaniach, stosowane raczej wyjątkowo, głównie w przypadkach nietypowych.

Najważniejszym elementem konstrukcyjnym każdej protezy jest odpowiednio wykonany i dopasowany lej protezowy oraz sposób jego zawieszenia – mocowania na kikucie. Mocowanie na kikucie występuje za pomocą leja wyposażonego w liner. Liner służy wygenerowaniu odpowiednich sił dla zawieszenia protezy oraz stanowi delikatny łącznik z twardą szkieletową konstrukcją leja protezy. Standardowo linery wykonane są w postaci uniwersalnej uciskowej opaski wykonanej z żelu albo z silikonu. Rozwój technologii 3D sprawił, że coraz częściej można spotkać nie tylko indywidualne leje protezowe, ale i linery. Linery wykonane indywidualnie korygują geometrię kikuta, tak aby zapewnić potrzeby biomechaniczne, stabilność osadzenia protezy w narzędzie ruchu oraz pozwalać na odpowiednie nią sterowanie i manipulacje. W pracy skupiono się na analizie konstrukcji leja, którego budowa przystosowana jest do wewnętrznych wkładek (liner'ów) z różnym wykonaniem. Analiza miała dowiedzieć hipotezy, że przygotowanie zindywidualizowanego liner'a dla krótkich kikutów przynosi szereg korzyści pacjentowi zarówno w aspekcie funkcjonalności protezy jak i indywidualnych odczuć przy korzystaniu z protez [Maciąg i Danielewska 2024, Dompe i wsp. 2020].

Przedmiotem badań była ocena jakości zawieszenia protezy na krótkim kikucie uda z wykorzystaniem pełnokontaktowego leja w wykonaniu ze standardowym linerem w relacji do pełnokontaktowego leja w wykonaniu z indywidualizowanym linerem w aspekcie biomechaniki zawieszenia protezy. Fizycznie wykonano indywidualne zaopatrzenie ortopedyczne, wytwarzając protezę ze standardowym linerem dla wybranej grupy użytkowników. Dla tej techniki zawieszenia proces wytwarzania poszczególnych komponentów protezy był wykonany standardową techniką. Indywidualny lej wykonany był na podstawie pozytywu gipsowego techniką laminacji tkaniny szklanej żywicą akrylową, wyposażając go w silikonowy o uniwersalnej geometrii liner. Druga technika polegała na cyfrowym przygotowaniu geometrii leja i linera. Proces ten polegał na utworzeniu cyfrowego modelu 3D kikuta wykorzystując skaner 3D w tym procesie. Na podstawie cyfrowego modelu 3D kikuta opracowuje się finalny cyfrowy pozytyw kikuta. Tak opracowany cyfrowy pozytyw kikuta staje się elementem, na podstawie którego z wykorzystaniem maszyny technologicznej CNC frezuje się w piance polietanowej fizyczny obiekt. Tak powstała forma jest pozytywem kikuta, na którym wykonuje się laminację leja protezowego.

Na tak przygotowanym pozytywie kikuta wykonano laminację leja protezowego. W tej technice liner wykonano indywidualnie, uwzględniając obszary w geometrii, które należy skorygować, aby wyeliminować możliwość wystąpienia otarć naskórka, przenieść w prawidłowy sposób obciążenia wynikające z użytkowania protezy, oraz zapewniając gniazda dla pofałdowań w skórze powstałe przy bliznach pooperacyjnych. Dla tak przygotowanej (indywidualnej geometrii) wykonano techniką rolowania indywidualny liner.

### 3. Metoda

Badania miały charakter badań pilotażowych w formie badań porównawczych z udziałem 6 uczestników, wylosowanych spośród szerszej grupy (bazy 100 osób) zaklasyfikowanych wg. wieku i aktywności fizycznej po amputacji na poziomie uda z krótkim bądź bardzo krótkim kikutom, którzy zabieg amputacji nie mieli wcześniej niż sześć miesięcy przed rozpoczęciem badań. Badania składały się z dwóch etapów. Etap pierwszy polegał na użytkowaniu przez pacjentów rozwiązania opartego na protezie w wykonaniu standardowym (z linerem uniwersalnym) w czasie sześciu tygodni, aby w drugim etapie przez kolejne sześć tygodni użytkować rozwiązanie protezy wykonanej cyfrowo z indywidualnym silikonowym linerem.

Ocenę dokonano na podstawie obserwacji wzrokowej kikuta, zmianie czułości naskórka kikuta oraz ukrwienia za pomocą kamery termowizyjnej jako rozkładu temperatury na kikucie, oraz za sprawą wywiadu z uczestnikiem badań. Wywiad był oparty o kwestionariusz, który zawierał metryczkę oraz zestaw pytań zamkniętych z odpowiedziami o charakterze stopniowania opartej na skali analogowej. Natężenie ocenianego zjawiska miało skalę o procentowej podziałce, w której 0% oznaczało brak wystąpienia cechy, a 100% oznaczało najwyższą dotkliwość cechy. Dla uchwycenia różnic w technikach mocowania każdy z uczestników badań wypełniał tę samą ankietę przed zmianą techniki mocowania oraz po upływie użytkowania przez sześć miesięcy rozwiązania opartego na indywidualnym leju i linerze.

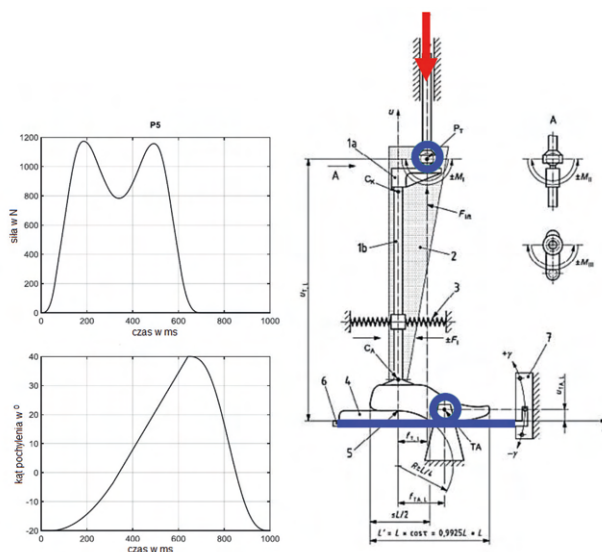
Uczestnicy byli podzieleni na dwie równe podgrupy. W pierwszej grupie były osoby, które przeszły zabieg amputacji na poziomie uda w wyniku chorób naczyniowych, którzy klasyfikowani byli w pierwszej klasie mobilności. Pierwsza klasa mobilności klasyfikuje osoby jako osoby, które poruszają się przede wszystkim po pomieszczeniach. Jeśli wychodzą na zewnątrz to na krótko, po płaskim podłożu, poza przeszkodami, najlepiej w asyście opiekuna. Osoba ta może poruszać się za pomocą protezy po płaskim podłożu, z małą i równą prędkością chodu. Osoby o niskiej aktywności najczęściej korzystają z ortopedycznego zaopatrzenia pomocniczego. Zwyczajowo są to laski, kule czy balkoniki. Zastosowanie protezy umożliwia tym osobom zdolność stania i poruszania się w wybranych sytuacjach (tylko tych koniecznych), przede wszystkim w pomieszczeniach zamkniętych i okazjonalnie w terenie otwartym.

W drugiej grupie były osoby, które przeszły zabieg amputacji na poziomie uda w wyniku dużych urazów, którzy klasyfikowani byli w drugiej klasie mobilności. Do drugiej klasy mobilności pacjentów zalicza się osoby z ograniczoną swobodą ruchów, poruszających się zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na zewnątrz, w terenie. Przemieszczanie się ich przebiega z jednakową małą prędkością chodu. Poruszający się na zewnątrz pacjenci, pozostają najczęściej samodzielni. Radzą sobie z niskimi przeszkodami terenowymi jak nierówne podłoże, spadki i wzniesienia i nie wymagają wsparcia osób trzecich. Potrafią pokonać schody oraz krawężniki. Zastosowanie protezy umożliwia Pacjentom o średniej aktywności, zdolność stania,

nieznacznie ograniczoną zdolność poruszania się w pomieszczeniach zamkniętych oraz jednostajny chód na zewnątrz. Czas poruszania się i przebywania na zewnątrz jest ograniczony i zaplanowany.

W doborze uczestników wykorzystano technikę podwójnej ślepej próby, uwzględniając decyzje i dobrowolną zgodę na uczestnictwo w badaniach przez wylosowaną osobę. Uczestnicy wyrazili również zgodę na publikację wyników badań. Badania były prowadzone zgodnie ze standardami zawartymi w Deklaracji Helsińskiej z 2013 roku, a wyniki z badań były opracowane zgodnie z zaleceniami Międzynarodowego Komitetu Lekarskiego Redaktorzy czasopism – ICMJE. Wybrane osoby biorące udział w badaniach klasyfikowano w pierwszej klasie mobilności.

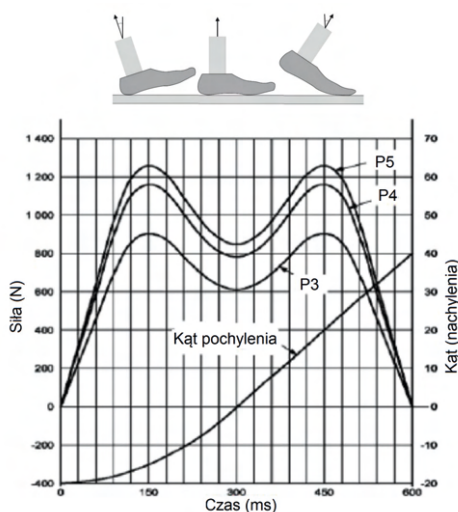
Opracowując indywidualny liner, skorzystano z cyfrowej techniki tworzenia jego geometrii. W trakcie realizacji prac korzystano z komputerowej techniki obliczeń inżynierskich metodą MES, (metoda elementów skończonych), w której po odwzorowaniu naturalnej geometrii kikutu i uwzględnieniu występujących obciążeń podczas użytkowania protezy przeprowadzono szereg symulacji. Symulacje miały na celu odnaleźć najkorzystniejszą geometrię liner'a, który spełnia najlepsze uwarunkowania fizjologiczne i biomechaniczne dla osadzenia protezy w narzędzie ruchu pacjenta. Obciążenie dla układu kikut-proteza zostało zdefiniowane wg. wytycznych zawartych w normach dotyczących badania protez kończyny dolnej PN-EN ISO 22675:2016 [Maciąg i Danielewska 2024, Zaczyk i Jasińska-Choromańska 2021] (Ryc. 3).



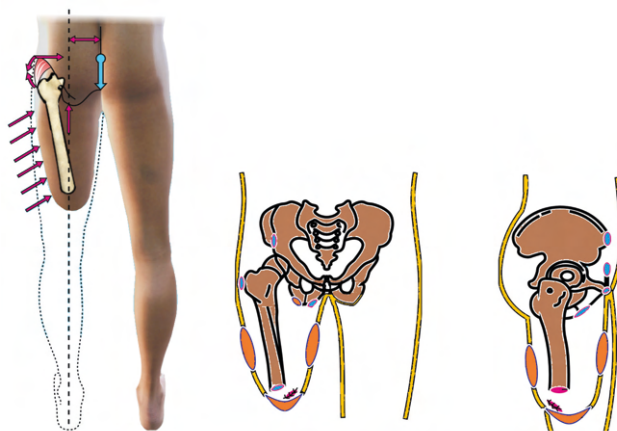
**Ryc. 3** Schemat odwzorowania obciążeń protezy kończyny dolnej i sił przenoszonych przez lej protezowy (opracowano wg. PN-EN ISO 22675:2016).

W testach symulacyjnych geometrii liner'a przyjmowano klasę obciążenia P3, P4, P5 wg. PN-EN ISO 22675:2016 (Ryc.4) w odniesieniu do indywidualnej masy uczestnika w badaniach [Zaczyk i Jasińska-Choromańska 2021].

Tworząc zindywidualizowaną geometrię leja i liner'a protezy skupiono się na kluczowych obszarach odciążających kikut oraz miejsc kompresji, aby uzyskać najbardziej komfortową stabilizację osadzonej protezy na kikucie, uwzględniając przy tym fałdy tkanek miękkich i blizn na kikucie (Ryc. 5). Korekcja konstrukcyjna polegała na zamianie geometrii na wybranych obszarach liner'a, tak aby dostosować go do zmienności powierzchni skóry na kikucie, uwzględniając fałdy pooperacyjne, grubość tkanek miękkich tak by kikut był odciążony w miejscach koniecznych, a dociśnięty w miejscach możliwych, tak aby zapewnić stabilność osadzenia protezy na kikucie, zachowując przy tym prawidłowe przeniesienie obciążenia z protezy na układ ruchu. Opierając się o model komputerowy kikuta, wykonano fizycznie obiekt dedykowanego liner'a.

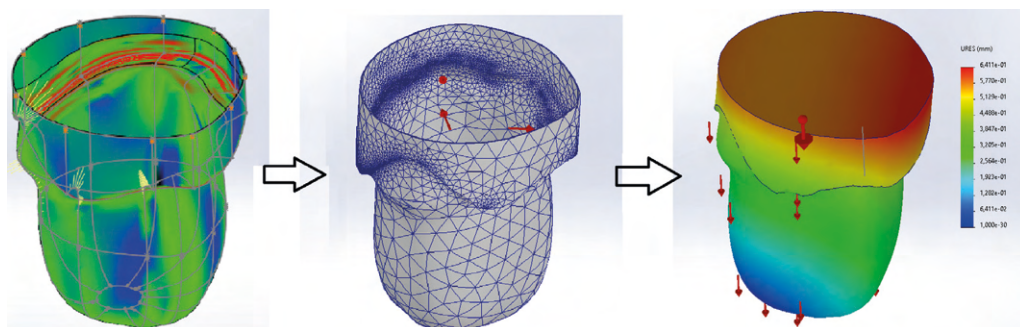


**Ryc. 4** Charakterystyka obciążenia wg. klasy obciążenia zadawanego w trakcie opracowywania indywidualnego liner'a.



**Ryc. 5** Schemat pokazujący lokalizację miejsc kompresji i odciążenia na geometrii krótkiego kikuta aby zagwarantować fizjologię i biomechanikę narządu ruchu.

Następnie przeprowadzono jego analizę w odniesieniu do jego geometrii. Analiza geometrii pozwoliła wprowadzić zmiany w jego grubości, umożliwiła skorygować wielkość stref odciążenia i obciążenia kikuta oraz stworzyć strefę stabilizacji dla występującej fałdy w kikucie. Wykonano kilka wariantowych geometrii, które poddano analizie MES (metodą elementów skończonych), aby obejrzyć rozkład obciążenia na całej powierzchni liner'a. Korekcja geometrii polegała na doprowadzeniu najbardziej jednorodnego obciążenia przy zachowaniu pełno kontaktowego mocowania protezy na kikucie (Ryc. 6).



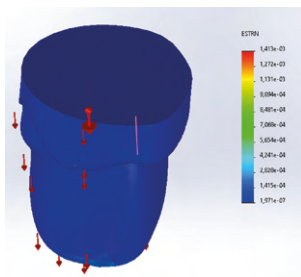
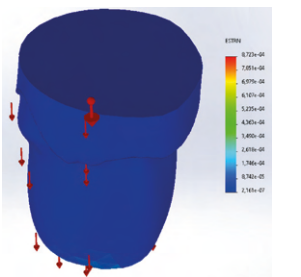
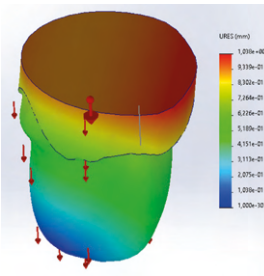
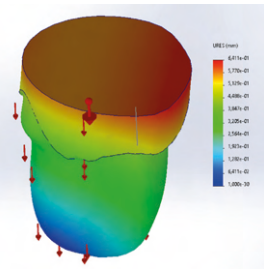
**Ryc. 6** Procedura postępowania przy opracowywaniu indywidualnego liner'a i leja protezowego wykorzystując narzędzia cyfrowe i techniki symulacyjne MES.

Wprowadzone zmiany w geometrii powierzchni kontaktu liner'a z naskórkiem kikuta, pozwoliły zwiększyć powierzchnię liner'a wewnętrzną do 8-10% w odniesieniu do liner'a w wykonaniu standardowym.

Zmierzenie powierzchni wewnętrznej liner'a pozwala na zwiększenie powierzchni osadzenia protezy na kikucie (Tab. 1).

**Tab. 1** Izomapy obrazujące parametry rozkładu obciążenia w liner'ze dla geometrii kikuta pacjent A I

Parametr	Stan przed korekcją geometrii	Stan po korekcją geometrii
Naprężenia		

Parametr	Stan przed korekcją geometrii	Stan po korekcją geometrii
Odształcenia		
Przemieszczenia		
Powierzchnia kontaktu z kikutem	65020,24 mm <sup>2</sup>	58518,20 mm <sup>2</sup>

#### 4. Wyniki

Badania miały charakter dwuetapowy. Pierwszy etap polegał na użytkowaniu przez sześciu pacjentów o pierwszej klasie mobilności z krótkim kikutem uda protezy. Proteza ta była dobrana i ustawiona pod osobliwe cechy pacjenta. W protezie tej wykorzystano zawieszenie na kikucie za sprawą indywidualnego leja protezowego zaopatrzonego w silikonowy liner w wykonaniu standardowym. W drugim etapie ta sama grupa sześciu pacjentów użytkowała protezy, w której pozostawiono wszystkie elementy konstrukcyjne protezy, wymieniając w niej jedynie liner uniwersalny na liner indywidualny. Liner indywidualny został indywidualnie zaprojektowany tak, że uwzględnił geometrię kikuta i biomechanikę zawieszenia. Tak powstały liner pozwolił zwiększyć powierzchnię kontaktu liner'a (protezy) z naskórkiem kikuta. Na koniec każdego etapu przeprowadzony był wywiad z uczestnikiem, na podstawie którego uzupełniano kwestionariusz badań. Kontrolnie wykonywano izomapę rozkładu temperatury na kikucie za pomocą kamery termowizyjnej. Rezultaty przeprowadzonych badań oraz zaobserwowane w wywiadzie opinie zestawiono w poniższych tabelach (Tab. 2, Tab. 3).

**Tab. 2** Rezultaty z indywidualnych odczuć uczestników z pierwszej grupy badawczej po użytkowaniu protezy z indywidualizowanym lejem protezowym i standardowym linerem

<b>GRUPA A – użytkowanie zindywidualizowanego leja i linera standardowego</b>						
Stopień mobilności	Pierwsza klasa mobilności					
Wiek	45-55 lat					
Masa uczestników	75-90 [kg]					
Typ amputacji	Amputacja uda z krótkim kikutem					
Przyczyny amputacji	Choroby naczyniowe					
Oznaczenie uczestnika badań	AI	AII	AIII	AIV	AV	AVI
	0% brak, 100% max					
Występowanie otarć na skórze kikuta,	50	75	50	25	25	25
Występowanie ucisku w trakcie użytkowania	25	25	50	50	25	25
Występowanie luzu w trakcie użytkowania	50	50	50	25	25	25
Odczucie stabilności protezy na kikucie	50	75	75	75	75	75
Maksymalna temperatura kikut w °C	34,5	35,1	35,2	34,8	34,8	35,9

**Tab. 3** Rezultaty z indywidualnych odczuć uczestników z pierwszej grupy badawczej po użytkowaniu protezy z indywidualizowanym lejem protezowym i indywidualnie wykonanym linerem

<b>GRUPA A – użytkowanie zindywidualizowanego leja i silikonowego liner'a z indywidualną geometrią wg analizy MES</b>						
Stopień mobilności	Pierwsza klasa mobilności					
Wiek	45-55 lat					
Masa uczestników	75-90 [kg]					
Typ amputacji	Amputacja uda z krótkim kikutem					
Przyczyny amputacji	Choroby naczyniowe					
Oznaczenie uczestnika badań	AI	AII	AIII	AIV	AV	AVI
	0% brak, 100% max					
Występowanie otarć na skórze kikuta,	25	50	25	0	0	0
Występowanie ucisku w trakcie użytkowania	0	25	25	0	25	0
Występowanie luzu w trakcie użytkowania	25	25	50	25	0	0

<b>GRUPA A – użytkowanie zindywidualizowanego leja i silikonowego liner’a z indywidualną geometrią wg analizy MES</b>						
Odczucie stabilności protezy na kikucie	25	50	25	25	50	25
Maksymalna temperatura kikuta w °C	34,8	35,6	35,6	35,5	35,2	36,1

Analogiczne prace badawcze zrealizowano na drugiej grupie badawczej, w której uczestnicy przynależeli do drugiej grupy mobilności. W grupie tej jeden uczestnik badań amputację miał wykonaną w wyniku obszernego urazu kończyny dolnej. Uzyskane i zebrane dane zestawiono w poniższych tabelach (Tab. 4, Tab. 5).

**Tab. 4** Rezultaty z indywidualnych odczuć uczestników z drugiej grupy badawczej po użytkowaniu protezy z indywidualizowanym lejem protezowym i standardowym linerem

<b>GRUPA B – użytkowanie zindywidualizowanego leja i linera standardowego</b>						
Stopień mobilności	Druga klasa mobilności					
Wiek	44-56 lat					
Masa uczestników	76-92 [kg]					
Typ amputacji	Amputacja uda z krótkim kikutem					
Przyczyny amputacji	Choroby naczyniowe/ *uraz					
Oznaczenie uczestnika badań	BI	BII	BIII	BIV	BV	BVI*
	0% brak, 100% max					
Występowanie otarć na skórze kikuta,	50	75	50	25	50	50*
Występowanie ucisku w trakcie użytkowania	50	25	50	50	50	25*
Występowanie luzu w trakcie użytkowania	25	25	50	25	50	25*
Odczucie stabilności protezy na kikucie	50	50	50	50	50	50*
Maksymalna temperatura kikuta w °C	34,5	34,9	35,1	35,0	35,6	35,6*

**Tab. 5** Rezultaty z indywidualnych odczuć uczestników z drugiej grupy badawczej po użytkowaniu protezy z indywidualizowanym lejem protezowym i indywidualnie wykonanym linerem

<b>GRUPA B – użytkowanie zindywidualizowanego leja i silikonowego liner’a z indywidualną geometrią wg analizy MES</b>						
Stopień mobilności	Druga klasa mobilności					
Wiek	44-56 lat					
Masa uczestników	76-92 [kg]					
Typ amputacji	Amputacja uda z krótkim kikutem					

<b>GRUPA B – użytkowanie zindywidualizowanego leja i silikonowego liner'a z indywidualną geometrią wg analizy MES</b>						
Przyczyny amputacji	Choroby naczyniowe/ *uraz					
Oznaczenie uczestnika badań	BI	BII	BIII	BIV	BV	BVI*
	0% brak, 100% max					
Występowanie otarć na skórze kikuta,	25	0	0	0	0	25*
Występowanie ucisku w trakcie użytkowania	25	25	0	0	0	0*
Występowanie luzu w trakcie użytkowania	0	0	25	25	0	0*
Odczucie stabilności protezy na kikucie	25	25	25	25	25	25*
Maksymalna temperatura kikuta w °C	35,2	35,9	36,1	36,0	35,1	35,6*

Na podstawie zebranych danych z wywiadu oraz w trakcie badań symulacyjnych metodą elementów skończonych dla poszczególnych geometrii kikutów można stwierdzić, że zastosowanie indywidualnych rozwiązań na poziomie liner'a w leju protezowym ma pozytywny wpływ na stabilność i poprawność osadzenia protezy na kikucie pacjenta. Odwzorowanie kinematyki ruchu i obciążenia przy krótkim i bardzo krótkim kikucie ma bardzo duże znaczenie. To krótki kikut swą małą objętością i powierzchnią naskórka musi przenieść te same obciążenia i siły w procesie chodu/biegu co jego odpowiednik o zdecydowanie większej objętości i długości. Zebrane dane z badań i obserwacji pozwoliły ocenić na podstawie stanu kikuta oraz wywiadu z uczestnikiem badań, które rozwiązanie przynosi wyższy komfort użytkowania protezy. W analizie wyników pominięto wpływ własności użytkowych protezy oraz stopnia poprawności wyuczonego chodu użytkownika protezy po aspekt poprawności kalibracji protezy w odniesieniu do cech anatomicznych uczestnika badań. Powyższe parametry pozostawały stałe w każdym z etapów badań, a ich waga na każdym etapie badań nie ulegała zmianie. Dla wszystkich porównań przeprowadzono test par weryfikując równość median przy użyciu testu Wilcozona [Maciąg i Danielewska 2024]. Wyniki są istotne statystycznie z  $p < 0,05$ .

## 5. Dyskusja

Dane literaturowe przekazują, że optymalna długość nowo powstającego segmentu, jakim jest kikut po zabiegu operacyjnym powinien stanowić więcej niż 30% do mniej niż 60% długość kości udowej [Maciąg i Danielewska 2024, Horn i wsp. 2018, Zaczyk 2021]. Długości kikuta powstającego w wyniku amputacji na poziomie uda ma wpływ na jakość osadzenia protezy i przyszły komfort użytkowania protezy. Na komfort użytkowania protezy ma też efektywność przenoszenia energii kinetycznej z narządu ruchu pacjenta na protezę i odwrotnie. Wiadome jest, że

wydatek energetyczny jest mniejszy, im dłuższy jest kikut. Dobry stan fizjologiczny (umięśnienia) kikuta i jego długość wpływa bezpośrednio na wytworzenie odpowiedniego ramienia dźwigni do sterowania i manipulacji protezą. Ta dobra wydolność odwodźciela uda stabilizuje miednicę w poziomie, dając naturalną pozycję kikutowi do przeniesienia podparcia dla pozycji stojącej. Wszystkie powyższe uwarunkowania fizjologiczne i biomechaniczne w przypadku kikutów krótkich bądź bardzo krótkich są zaburzone i trudne do uzyskania. Wymuszenie tych uwarunkowań przy małej objętości kikuta zwiększa ryzyko wystąpienia dolegliwości bólowych, zbyt dużych ucisków, oraz zwiększa ryzyko możliwych do wystąpienia otarć na czułym kikucie. Zbyt krótki kikut zmniejsza możliwość prawidłowego osadzenia na nim leja protezowego, zachowując wymaganą stabilność miednicy przy jednoczesnym elastycznym sterowaniu protezą. Często staję się, że pacjent zaprzestaje aktywności fizycznej ze względu na brak poczucia bezpieczeństwa przy podpieraniu się na protezie nogi, co finalnie go ogranicza i wyklucza z normalnego funkcjonowania w życiu codziennym. W perspektywie czasu mięśnie po amputacji zanikają, uwydatniając elementy narządu ruchu (kości) oraz nerwy. Uwydatnienie połączeń nerwowych, przyczynia się do nadwrażliwości naskórka kikuta, utrudniając tym użytkowanie prawidłowo dobranej protezy. Struktura kikuta jak kolbowatość w części dystalnej, występowanie nadmiaru tkanek miękkich w strukturze, występowanie wyrostki kostnych, zbliźnowacenia, występowanie nerwiaków potęgują możliwość prawidłowego osadzenia protezy, za pomocą leja w kikucie zachowując pierwotne uwarunkowania biomechaniczne narządu ruchu pacjenta. Oprócz uwarunkowań statycznych mogą występować ograniczenia ruchów w stawie na poziomie geometrii układu kostnego w stawie (kinematyki) oraz ograniczenia wynikające z przykurczy mięśniowych w szczególności mięśni grup zgięciowo-odwiedzeniowych co utrudnia sterowanie protezą. Wpływ tych negatywnych zjawisk towarzyszących amputacji można zmniejszyć przez wprowadzenie złożonego procesu rehabilitacyjnego, hartowania kikuta oraz odpowiednie zaopatrzenie protetyczne. Przeprowadzone badania pokazały, że w przypadkach bardzo złych uwarunkowań biomechanicznych, do których należy krótki, bądź bardzo krótki kikut uda, możliwe jest znalezienie korzystnych warunków fizjologicznych i biomechanicznych. Badania dowiodły, że możliwe jest uzyskanie korzystnego mocowania protezy na kikucie narządu ruchu, nie pogarszając warunków dla sterowania protezą, oraz utrzymać odpowiedni komfort dla tkanek miękkich, niepowodujący nadmiernego ucisku i jego obtarć przy użytkowaniu protezy. Modyfikacja geometrii liner'a i przyrost jego powierzchni kontaktu o 10% w relacji do rozwiązania standardowego przy zastosowaniu leja pełnokontaktowego wykazało pozytywne odczucia wśród uczestników badań. Wyścielenie w postaci indywidualnie pasowanych liner'ów dla lejów kontaktowych i pełnokontaktowych, przylegających ściśle do kikuta na całej niemal powierzchni, generuje lepsze warunki dla tkanek miękkich jak rozwiązanie standardowe. Zachowanie pełnego kontaktu w połączeniu z wybiórczym różnicowaniem nacisku na określone obszary powierzchni

kikuta, za pomocą tworzenia miejscowej odporności na ucisk oraz zwiększania ucisku w oparciu leja na elementach kostnych i więzadłowych z zachowaniem nieruchomości skóry względem ściany leja, pozwala na wyeliminowanie szkodliwych otarć naskórka wraz z jego następstwami. Natomiast kształt leja maksymalnie dostosowany do biomechaniki kikuta i ruchu protezowego oraz pozostałe rozwiązania konstrukcyjne warunkują stabilność i sterowność protezy. Powyższy fakt potwierdzają dane uzyskane od pacjentów w wywiadzie, a także wyniki uzyskane z symulacji MES dla naprężeń przy analizie geometrii kikuta. Symulacje pokazały rozkład naprężeń na powierzchni kikuta oraz stopień równomierności rozkładu sił nacisku. Uczestnicy badań z podgrupy A, którzy wykazywali pierwszy stopień aktywności, ocenili korzystniej rozwiązanie z liner'em opracowanym indywidualnie, aniżeli protezę z lejem indywidualnym wyposażonym w standardowy liner. Zmiany w wynikach oscylowały na poziomie 25-30% na korzyść rozwiązania z liner'em opracowanym komputerowo z wykorzystaniem techniki MES. Uczestnicy badań z podgrupy B, którzy wykazywali drugi stopień aktywności, ocenili korzystniej rozwiązanie z liner'em opracowanym indywidualnie jak protezę z lejem indywidualnym wyposażoną w standardowy liner, ale poszczególne uwarunkowania miały większy rozrzut. Zmiany w wynikach oscylowały na poziomie 15-50% na korzyść rozwiązania z liner'em opracowanym komputerowo z wykorzystaniem techniki MES. Ścisłe pasowanie lejów pozwala też uwalniać pacjentów od skrępowania elementami rozbudowanego często zawieszenia konwencjonalnego dla zaopatrzenia protetycznego na poziomie uda.

Źródła finansowania: Prace badawcze były finansowane w ramach projektu BEA/000001/BF/2022 pt. Ocena procesu kształtowania kikuta po amputacji ze współbieżną rehabilitacją z wykorzystaniem aktywnego leja tymczasowego protezy dofinansowanego ze środków PFRON i WZSO S.A.

## Piśmiennictwo

- [1] Aternali A., Katz J. *Recent advances in understanding and managing phantom limb pain*. F1000 Res. 2019:8-10.
- [2] Brassolatti P., Andrade A.L.M. *Evaluation of the low-level laser therapy application parameters for skin burn treatment in experimental model: a systematic review*. Lasers in Medical Science. 2018:2013-1214.
- [3] Curyło M., Ciukszo A., Zaczyk M. *Ocena wpływu elastyczności podparcia stopy protezowej na chód pacjenta po amputacji kończyny dolnej na poziomie uda*. Fizjoterapia Polska, Kraków. 2021:56-63.
- [4] Dompe C., Moncrieff L., Matys J. *Photobiomodulation – Underlying Mechanism and Clinical Applications*. J Clin Med. 2020:1724-1725.
- [5] Folch A., Gallo D., Miró J., Salvador-Carulla L., Martínez-Leal R. *Mirror therapy for phantom limb pain in moderate intellectual disability. A case report*. Eur J. Pain. 2022:246-254.
- [6] Gunduz M.E., Pacheco-Barrios K., Bonin Pinto C., Duarte D., Vélez F.G.S., Gianlorenco A.C.L., Teixeira P.E.P., Giannoni-Luza S., Crandell D., Battistella

- L.R., Simis M., Fregni F. *Effects of Combined and Alone Transcranial Motor Cortex Stimulation and Mirror Therapy in Phantom Limb Pain: A Randomized Factorial Trial*. *Neurorehabil Neural Repair*. 2021:704-716.
- [7] Horne C.E., Engelke M.K., Schreier A., Swanson M., Crane P.B. *Effects of Tactile Desensitization on Postoperative Pain After Amputation Surgery*. *J. Perianesth Nurs*. 2018:689-698.
- [8] Houreld N. *Shedding Light on a New Treatment for Diabetic Wound Healing A Review on Phototherapy*, *Scientific Word J*. 2014:89-96.
- [9] Li H., Li Y., Guo Z., Hao L., Tang Y., Guo Y., Zhang D., He L., Wang Y., Meng Y., Li F., Ni J. *Low-temperature plasma radiofrequency ablation in phantom limb pain. A case report*. *Brain Circ*. 2018:62-64.
- [10] Maciąg M., Donielewska A. *Fizjoterapia i aktywność fizyczna jako podstawa zdrowia człowieka*. Wydawnictwo naukowe Tygiel, Lublin. 2024:89-121.
- [11] Mark I., Matthew J., Mulvey R., Bagnall A.M. *Transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) for phantom pain and stump pain following amputation in adults* *Monitoring Editor, Cochrane Pain, Palliative and Supportive Care Group*. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015:8-12.
- [12] May B.J. *Stump bandaging of the lower-extremity amputee*. *Phys Ther*. 1964:808-814.
- [13] Miller L.K., Jerosch-Herold C., Shepstone L. *Effectiveness of edema management techniques for subacute hand edema, A systematic review*. *J Hand Ther*. 2017:432-446.
- [14] Miller R., Ambler G.K., Ramirez J., Rees J., Hinchliffe R., Twine C., Rudd S., Blaze J. Avery K., *Patient Reported Outcome Measures for Major Lower Limb Amputation Caused by Peripheral Artery Disease or Diabetes, A Systematic Review*. *Eur J. Vasc Endovasc Surg*. 2021:491-501.
- [15] Mioton L.M., Dumanian G.A., Shah N., Qiu C.S., Ertl W.J., Potter B.K., Souza J.M., Valerio I.L., Ko J.H., Jordan S.W. *Targeted Muscle Reinnervation Improves Residual Limb Pain, Phantom Limb Pain, and Limb Function: A Prospective Study of 33 Major Limb Amputees*. *Clin Orthop Relat Res*. 2020:2161-2167.
- [16] Schon L.C., Short K.W., Soupiou O., Noll K., Rheinstein J. *Benefits of early prosthetic management of transtibial amputees: a prospective clinical study of a prefabricated prosthesis*. *Foot Ankle Int*. 2002:509-514.
- [17] Segal N., Pud D., Amir H., Ratmansky M., Kuperman P., Honigman L., Treister R. *Additive Analgesic Effect of Transcranial Direct Current Stimulation Together with Mirror Therapy for the Treatment of Phantom Pain*. *Pain Med*. 2021:255-265.
- [18] Silveira P.C., Ferreira K.B. *Effect of Low-Power Laser and Light-Emitting Diode on Inflammatory Response in Burn Wound Healing*. *Inflammation*. 2016:20-26.
- [19] Traballesi M., Delussu A.S., Fusco A., Iosa M., Averna T., Pellegrini R., Brunelli S. *Residual limb wounds or ulcers heal in transtibial amputees using an active*

- suction socket system a randomized controlled study*. Eur J. Phys Rehabil Med. 2012:613-623.
- [20] Yoo J.Ch, Hwan K.D.H., Chang M.Ch. *Amputation stump management, A narrative review*. World J Clin Cases. 2022:3981-3988.
- [21] Zaczyk M. *Influence of Correct Prosthetic Equipment in a Person with Motor Organ Dysfunction in Relation to its Mobility – a Pilot Study*. Rehabilitacja Medyczna. 2021:18-24.
- [22] Zaczyk M. Jańska-Choromańska D. *Metody badawcze konstrukcji protez kończyn dolnych w aspekcie walidacji tych rozwiązań*, Kwartalnik niepełnosprawność - zagadnienia, problemy, rozwiązania. Nr III-IV, Warszawa. 2021:305-323.
- [23] Zaczyk M. *Validation of Gait Process Evaluation in People with Lower Limb Amputation*. Rehabilitacja Medyczna. 2023:66-72.

## **Wpływ wysiłku fizycznego o różnej intensywności na poziom neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego**

### **The impact of physical exercise of varying intensity on the level of brain-derived neurotrophic factor**

**M. JOHNE**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: monika.johne@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: BDNF, HIIT, MICT*

#### **1. Wstęp**

Neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego (BDNF – brain-derived neurotrophic factor) jest obecnie intensywnie badany jako jeden z czynników wpływających na neuroplastyczność mózgu, który z jednej strony wpływa na osłabianie procesów degeneracji neuronów indukujących, a z drugiej potęgujących plastyczność neuronalną [Liang i wsp. 2023]. Należy on do rodziny neurotrofin, które regulują procesy neurobiologiczne i syntezę białek [Gottmann i wsp. 2009, Edelman i wsp. 2014]. BDNF odgrywa dużą rolę na wzrost neurytów i przeżycie neuronów oraz tworzenie się synaps pomiędzy neuronami i pełni bardzo ważną rolę w procesie uczenia się [Ramussen i wsp. 2009, Fargalis i wsp. 2012]. Neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego wytwarzany jest w ośrodkowym układzie nerwowym głównie w korze mózgowej i hipokampie [Ernfors i wsp. 1990] oraz tkankach obwodowych, a magazynowany w płytkach krwi co umożliwia zbadanie tego wskaźnika z krwi obwodowej [Seifert i wsp. 2010].

W licznych badaniach stwierdzone zostało, że BDNF pochodzący z mózgu może przedostać się do krążenia przekraczając barierę krew-mózg, a wyższy poziom tego wskaźnika w tkance mózgowej i krwi wpływa na lepsze zdolności poznawcze [Travican i wsp. 2022] oraz może zapobiegać chorobom neurodegeneracyjnym [Arazi i wsp. 2021].

Obniżone stężenie BDNF we krwi stwierdzone zostało wśród pacjentów z chorobami psychiatrycznymi (depresja, schizofrenia) [Autry i wsp., 2012], chorobami neurologicznymi (demencja) oraz chorobami poznawczymi (Alzheimer, Parkinson) [Tapia-Arancibia i wsp. 2008] a wielkość tego spadku zależy od wielkości zaburzeń poznawczych [Herold i wsp. 2019].

Na poziom białka BDNF we krwi wpływa wiele czynników, m.in. wiek, płeć, masa ciała, używki, sen, stres i dieta. Istotne jest również uwzględnienie rodzaju materiału analitycznego, takiego jak surowica czy osocze, a także czasu przechowywania próbki i procesu wirowania [Gejl i wsp. 2019]. Różnice w poziomach BDNF w surowicy

i osoczu mogą wynikać z mechanizmu trombocytozy oraz wykorzystania BDNF po długotrwałym, intensywnym lub przewlekłym wysiłku fizycznym. Możliwe, że wyższa produkcja czynników wzrostu w płytkach krwi oraz wykorzystanie BDNF do naprawy i regeneracji mięśni szkieletowych i włókien nerwowych na poziomie mięśni szkieletowych przyczyniają się do obniżenia poziomu BDNF w surowicy i osoczu [Roeh i wsp. 2021].

Jednym ze sposobów naturalnego podwyższania obwodowego BDNF jest aktywność fizyczna. Aktualne badania na ludziach potwierdzają, że ćwiczenia mogą być skuteczną metodą w leczeniu chorób psychicznych i neurobiologicznych [Rosenbaum i wsp. 2014]. Udowodniony został wyższy poziom BDNF w surowicy, który korelował z lepszymi wynikami pamięci, zarówno u osób młodszych jak i starszych np. po wysiłkach siłowych [Heisz i wsp. 2016]. Obserwowany wzrost stężenia BDNF w surowicy po wysiłku fizycznym dzięki możliwości przekraczania bariery krew-mózg może wpływać na wzrost neuronów czy ich przeżycie co będzie stymulować funkcje poznawcze [El Hayek i wsp. 2017] i korzystnie wpływać na osoby chore na choroby neurodegeneracyjne [Stillman i wsp. 2016]. Jednakże, biorąc pod uwagę sprzeczne wyniki badań dotyczących wpływu różnych rodzajów wysiłku fizycznego na poziom BDNF, bieżący przegląd koncentruje się na zmianach poziomu BDNF w odpowiedzi na dwa najbardziej popularne rodzaje treningu: trening aerobowy ciągły o niskiej intensywności oraz trening interwałowy o wysokiej intensywności. MICT (Moderate-Intensity Continuous Training) to forma treningu, w której przez dłuższy czas wykonywana jest aktywność fizyczna o umiarkowanej intensywności. Z kolei HIIT (High-Intensity Interval Training) to trening interwałowy o wysokiej intensywności, który polega na naprzemiennym wykonywaniu krótkich, intensywnych ćwiczeń z okresami odpoczynku lub ćwiczeń o niższej intensywności.

Głównym celem tego badania było przeprowadzenie systematycznego przeglądu literatury, aby zbadać wpływ treningu ciągłego o umiarkowanej intensywności (MICT) w porównaniu z treningiem interwałowym o wysokiej intensywności (HIIT) na poziom BDNF w surowicy.

## 2. Materiał i metody

Przeszukano bazy danych elektronicznych PubMed (za pośrednictwem National Library of Medicine), SCOPUS (Elsevier) i CINAHL with Full Text (EBSCO) i Google Scholar. W celu wyszukania odpowiednich artykułów użyto słów kluczowych takich jak „BDNF”, „neurotroficzny czynnik pochodzenia mózgowego”, „HIIT”, „HIIE”, „interwałowy trening o wysokiej intensywności”, „MICT” oraz „trening ciągły o umiarkowanej intensywności”. Wszystkie przeszukiwania baz danych ograniczono do okresu od stycznia 2014 r. do października 2024 r. Wyszukano 368 artykułów, z czego 114 to artykuły powtarzające się. Na podstawie tytułów i streszczeń odrzucono artykuły, w których badania były prowadzone na zwierzętach, przeglądy i metaanalizy. W kolejnym etapie odrzucono 83 artykuły, w których badany był inny rodzaj wysiłku, nie badano BDNF w surowicy lub nie podano wyników

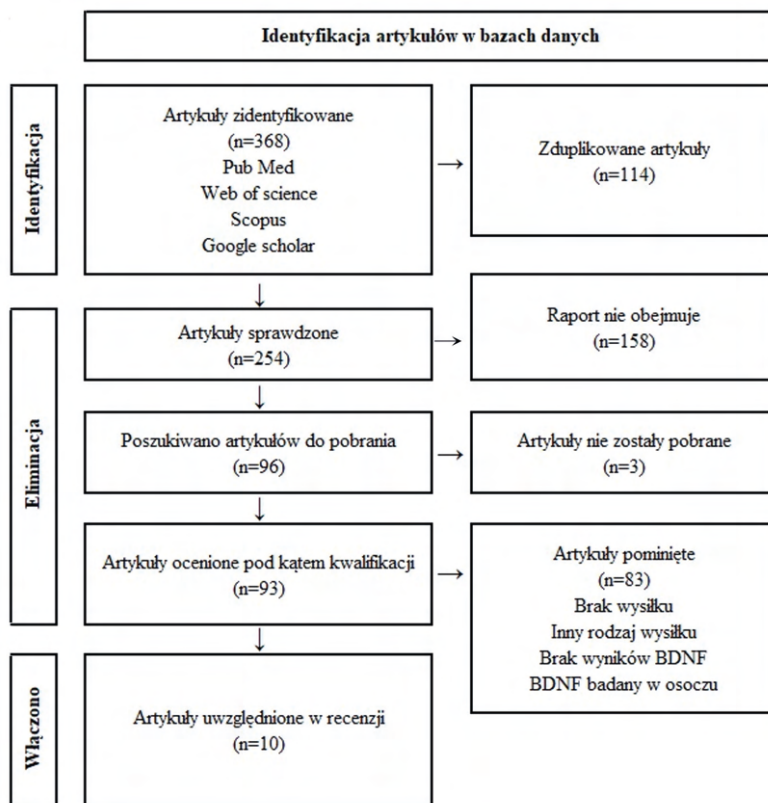
neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego. Ostatecznie do przeglądu włączono 10 artykułów, w których przeprowadzono badania na jedenastu grupach badawczych. Dwóch niezależnych recenzentów zidentyfikowało potencjalnie kwalifikujące się artykuły na podstawie tytułów i streszczeń, które następnie oceniono według kryteriów włączenia i wyłączenia. Po pierwszym wyborze pełne teksty artykułów zostały przeczytane przez tych samych recenzentów w celu określenia, które z artykułów spełniają wszystkie wymagane kryteria. W przypadku rozbieżności pomiędzy dwoma recenzentami konsultowano się z trzecim recenzentem. W sytuacji kiedy nie był dostępny pełen tekst lub nie były podane wyniki BDNF kontaktowano się z autorami z prośbą o przesłanie swojego artykułu lub uzupełnienie wyników badań.

W badaniu wzięło udział 187 uczestników (17% kobiet) w wieku od 20 do 77 lat. Przeprowadzono cztery badania na zdrowej populacji [Buzdagli i wsp. 2024, Jung i wsp. 2024, Rodriguez i wsp. 2018, Tsai i wsp. 2021] oraz siedem na populacji ze stwierdzonymi jednostkami chorobowymi, takimi jak udar mózgu [Boyne i wsp. 2019, Hsu i wsp. 2021], choroba Parkinsona [O'Callaghan i wsp. 2020] i otyłość [Rodriguez i wsp. 2018, De Lima i wsp. 2022, Inoue i wsp. 2020, Li i wsp. 2021]. Wpływ treningu HIIT na poziom BDNF w porównaniu z treningiem MICT oceniono w pięciu badaniach jako efekt ostry [Boyne i wsp. 2019, Buzdagli i wsp. 2024, Rodriguez i wsp. 2018, Tsai i wsp. 2021], natomiast w sześciu badaniach oceniono efekt przewlekły [De Lima i wsp. 2022, Hsu i wsp. 2021, Inoue i wsp. 2020, Jung i wsp. 2024, Li i wsp. 2021, O'Callaghan i wsp. 2020]. Intensywność treningu interwałowego o wysokiej intensywności mieściła się w przedziale 75%-100%  $VO_2$  max i była przeplatana aktywnym lub nieaktywnym odpoczynkiem. Intensywność treningu ciągłego o stałej intensywności mieściła się w przedziale 45%-75%  $VO_2$  max. Długość programów ćwiczeń, w których oceniano przewlekły efekt treningu, wahała się od 6 tygodni do 24 miesięcy, a częstotliwość od 2 do 5 dni w tygodniu. We wszystkich badaniach poziom BDNF badany był w surowicy metodą immunoenzymatyczną zgodnie z wytycznymi producenta.

### 3. Wyniki

W wyniku przeszukiwania baz zidentyfikowano 368 artykułów, z czego 114 to duplikaty. Na podstawie tytułów i streszczeń wykluczono artykuły dotyczące badań na zwierzętach, przeglądów literatury oraz metaanaliz. W kolejnym etapie odrzucono 83 artykuły, które dotyczyły innych rodzajów wysiłków fizycznych, nie badały poziomu BDNF w surowicy lub nie badały wartości zmian BDNF po wysiłku. Ostatecznie do analizy włączono 10 artykułów (Ryc. 1).

W pięciu badaniach wykazano, że trening MICT istotnie zwiększył poziom neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego po wysiłku [Buzdagli i wsp. 2024, De Lima i wsp. 2022, Inoue i wsp. 2020, Li i wsp. 2021, Tsai i wsp. 2021].



**Ryc. 1** Schemat blokowy przedstawiający proces wyszukiwania.

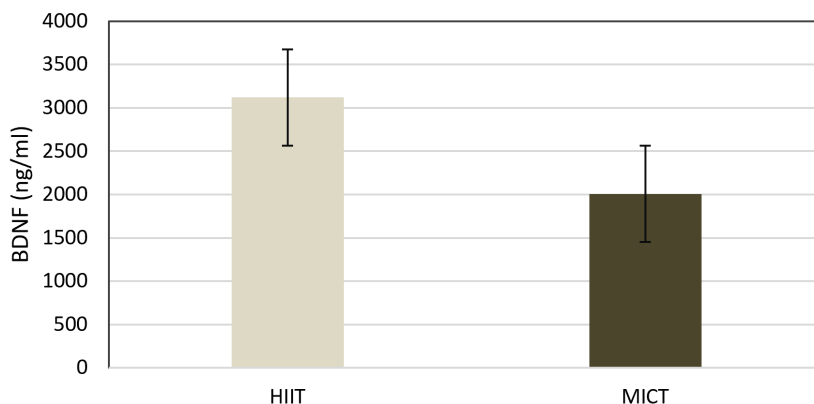
Z kolei w jednym badaniu zaobserwowano istotny spadek poziomu BDNF po tym rodzaju treningu [Hsu i wsp. 2021]. W dziesięciu badaniach odnotowano znaczący wzrost poziomu BDNF po treningu HIIT [Boyne i wsp. 2019, Buzdagli i wsp. 2024, De Lima i wsp. 2022, Hsu i wsp. 2021, Inoue i wsp. 2020, Jung i wsp. 2024, Li i wsp. 2021, Rodriguez i wsp. 2018, Tsai i wsp. 2021]. Tylko jedno badanie wykazało, że trening HIIT nie miał istotnego wpływu na poziom BDNF po wysiłku [O'Callaghan i wsp. 2020]. Statystycznie istotny wzrost poziomu BDNF między treningiem MICT a HIIT zaobserwowano w jednym badaniu [Hsu i wsp. 2021] (Tab. 2). Średnia wartość wzrostu poziomu białka BDNF po wysiłku interwałowym o wysokiej intensywności wyniosła 3120,4 g/ml i była o 36% wyższa niż po wysiłku ciągłym o umiarkowanej intensywności 2008,3 ng/ml, jednak różnica ta nie była istotna statystycznie (Ryc. 2).

**Tab. 1** Charakterystyka badań oceniających wpływ treningu MICT i HIIT na poziom BDNF w surowicy

Lp.	Autor rok	Rodzaj wysiłku	n (kobiety)	Płeć	Wiek [lata]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Czas interwencji	Rodzaj wysiłku	p	Stan zdrowia	Opis wysiłku
1.	Boyne 2018	MICT	16 (7)	M/F	57,4±9,7	27,6±3,7	1 dzień	bieżnia		udar mózgu	50% HRmax
		HIIT							p<0,05		
2.	Buzdagli 2024	MICT	28	M	24,4±4,72	22,4±5,12	1 dzień	ergometr rowerowy	p<0,001	boksery	21 min. × 65% VO2max 3 min. × 85%, 2 min. × 95% i 1 min. 100% VO2max z 1 min. biernej regeneracji, 3 min. 40% VO2max i ponownie (2 × [3 min. × 85%, 2 min. × 95% i 1 min. 100% VO2max])
		HIIE									
3.	de Lima 2022	MICT	12	M	40,5±5,63	29,4±3,61	8 tygodni	bieg	p<0,05	otyłość	3500-5000 m przy mak. prędkości 60%-75%
		HIIT	13		39,5±5,44	27,8±2,68			p<0,05		
4.	Hsu 2021	MICT	13	M	53,1	26,2	24 miesiące	ergometr rowerowy	*p=0,009	udar mózgu	60% (VO2peak)
		HIIT	10	M	58,5	25,5			p=0,012		
5.	Inoue 2020	MICT	10	M	30,0±5,4	34,6±3,7	6 tygodni	bieg na bieżni	p<0,001	otyłość	40 min. prędkością 65% MAV
		HIIT				34,1±3,6			p<0,001		
6.	Jung 2020	MICT	10	F	68,2 (3,11)	26,1 (2,11)	12 tygodni	bieżnia i rower	p<0,05	zdrowi	45 min. przy 40-60% 1 min. 85% lub więcej, 6x40% 4 min. odpoczynku
		HIIT			68,4 (3,23)	26,2 (2,35)					

Lp.	Autor rok	Rodzaj wysiłku	n (kobiety)	Płeć	Wiek [lata]	BMI [kg/m <sup>2</sup> ]	Czas interwencji	Rodzaj wysiłku	p	Stan zdrowia	Opis wysiłku
7.	Li 2021	MICT	10	M	66,4±4,50	27,7±2,84	12 tygodni	bieg na bieżni	p=0,006	otyłość	4 × 3 min przy 90% VO2max przeplatane 3 min przy 60% VO2max
		HIIT	10		p=0,006	25 min przy 70% VO2max					
8.	O'Callaghan 2020	MICT	9 (5)	M/F	68,8±7,9	20,5±3,34	12 tygodni	obwód stacyjny	p=0,861	Parkinson	60-80% HRmax. 4-6 × 4 min przy ≥85% HRmax przeplatane 3,5 min odpoczynku.
		HIIT	13 (9)		70,4±7,2	20,1±4,91			p=0,134		
9.	Rodriguez 2018	MICT	6	M	25,5±1,67	38,3±1,36	1 dzień	bieg na bieżni	p=0,044	otyłość	38 min. 50-60% VO2max 4 min. 80-90% VO2max, 3 minuty aktywnej regeneracji 50-60% VO2max
		HIIE									
		MICT	6		22,6±0,69	21,8±0,74	1 dzień	zdrowi	38 min. 50-60% VO2max 4 min. 80-90% VO2max, 3 minuty aktywnej regeneracji 50-60% VO2max		
		HIIE									
10.	Tsai 2021	MICT	21 (11)	M/F	60,6±4,96	24,2±2,23	1 dzień	jazda na rowerze	p=0,001	zdrowi	50-55% HRmax 10x1-min. 70-75% HRmax przepl atany c2-min. aktywną regeneracją
		HIIT							p=0,001		

\* – istotny spadek poziomu BDNF w porównaniu z wartościami wyjściowymi.



Ryc. 2 Średni wzrost wartości BDNF po wysiłku HIIT i MICT.

#### 4. Dyskusja

W niniejszym przeglądzie zostały zsyntetyzowane wyniki jedenastu badań z udziałem osób w różnym wieku mając na celu określenie wpływu różnych wysiłków na poziom BDNF w surowicy. Główne ustalenia badania wskazują, że zarówno trening MICT i HIIT wpływają na poprawę poziomu BDNF w surowicy. Jednakże, porównując dwa rodzaje treningów średnia wartość wzrostu poziomu białka BDNF po wysiłku interwałowym o wysokiej intensywności była o 36% wyższa niż po wysiłku ciągłym o umiarkowanej intensywności.

Uzyskane wyniki potwierdzają wcześniejsze metaanalizy i przeglądy stwierdzające pozytywny wpływ wysiłku na poziom BDNF w osób zdrowych [Dinoff i wsp. 2017, Wang i wsp. 2022] u osób otyłych [Celyan i wsp. 2024], pacjentów chorych na Parkinsona [Kaagman i wsp. 2024] oraz badanych ze stwierdzoną depresją [Da Cunha i wsp. 2023].

Coraz więcej przeglądów systematycznych wskazuje, że wzrost poziomu BDNF po wysiłku uzależniony jest od intensywności oraz czasu trwania wysiłku [Huang i wsp. 2014].

Badania, których celem było ocenienie, który z tych dwóch rodzajów wysiłków jest skuteczniejszy są kontrowersyjne. W ostatnim czasie opublikowana metaanaliza stwierdza, że trening HIIE umiarkowanie zwiększa poziom BDNF w surowicy w porównaniu z grupą kontrolną i osobami wykonującymi ćwiczenia o niskiej intensywności. Nie zostały natomiast stwierdzone istotne różnice pomiędzy wysiłkiem HIIT i MICT [Fernandez-Rodriguez i wsp. 2022]. W badaniach tych nie zostały zaobserwowane żadne korelacje pomiędzy wartościami BDNF badanego w osoczu po wysiłku HIIT. Wyniki badań O'Callaghana i współpracowników sugerują, że ćwiczenia o wysokiej intensywności są bardziej efektywne w zwiększaniu poziomu BDNF. Z kolei DiCagno i współpracownicy zaobserwowali znaczący wzrost BDNF jedynie w grupie o niskiej częstotliwości ćwiczeń. Różnice te mogą wynikać z różnych czynników, takich jak charakterystyka badanej populacji, sposób wykonywania ćwiczeń oraz obciążenia.

Wysiłki interwałowe o wysokiej intensywności stymulują beztlenowe procesy energetyczne, których produktem ubocznym jest wzrost stężenia mleczanu. Udowodnione zostało, że mleczan pełni rolę przekaźnika w różnych procesach metabolicznych [Müller i wsp. 2020]. Mleczan przez transportery monokarboksyłanowe (MCT) wnika do neuronów (MCT2) i komórek glejowych (MCT4) wpływając na transport glukozy do neuronów i ich metabolizm energetyczny [Dienel 2017]. W literaturze udowodnione zostało, że mleczan odgrywa kluczową rolę w poprawie pamięci [Steinman i wsp. 2016], a jego wzrost wywołany wysiłkiem fizycznym wpływa na syntezę BDNF i neuropatyczność [Proia i wsp. 2016]. Badanie przeprowadzone przez Walsh i wsp. [2020] potwierdzają, że krótkotrwałe wysiłki, ale o dużej intensywności zwiększają poziom BDNF i tym samym poprawiają zdrowie mózgu. W swoich badaniach udowadniają, że ćwiczenia aerobowe przeplatane ćwiczeniami beztlenowymi powodują najwyższy wzrost poziomu BDNF co związane jest z mechanizmami uwalniania mleczanu. Również Kovacevic i jego współpracownicy wskazują na większy wpływ HIIT niż MICT na pamięć roboczą, pamięć werbalną i funkcje wykonawcze oraz istotny wpływ na pamięć roboczą i wzrokową u starszych osób z nadwagą.

Badania przeprowadzone przez Ying i wsp. [2023] wykazały, że zarówno trening HIIT, jak i MICT zmniejszają objawy lękowe i depresyjne oraz wpływają na zdolności uczenia się i pamięci u myszy z chorobą Alzheimera. W badaniu tym analiza pokazała, że metabolizm energetyczny, neuroprzekaźników i błon komórkowych uległ znaczącym zmianom we wszystkich trzech obszarach mózgu po obu rodzajach ćwiczeń. Stwierdzono, że metabolizm aminokwasów został zaburzony w korze mózgowej i podwzgórzcu po HIIT oraz w hipokampie i podwzgórzcu po MICT. Jednak tylko HIIT znacząco wpłynął na metabolizm astrocytów i neuronów w hipokampie i podwzgórzcu myszy z chorobą Alzheimera. Wyniki sugerują, że ćwiczenia mogą wpływać na metabolizm mózgu myszy z chorobą Alzheimera w sposób specyficzny dla regionu i rodzaju ćwiczeń.

Należy wziąć pod uwagę ograniczenia tego badania. W przyszłych badaniach warto przeprowadzić badania na większej grupie osób w podobnym wieku oraz ocenić różnice między stwierdzonymi jednostkami chorobowymi. Ponadto, różnice w reakcjach fizjologicznych na ćwiczenia związane z wiekiem mogą wpływać na regulację BDNF, co z kolei wpływa na ogólną wielkość efektu obserwowaną w tym przeglądzie. Dlatego przyszłe badania z analizami pod względem wieku mogą dostarczyć bardziej szczegółowych informacji na temat związku między ćwiczeniami.

## 5. Wnioski

Odpowiedź BDNF na trening interwałowy o wysokiej intensywności była większa niż na trening ciągły o umiarkowanej intensywności zarówno u osób młodych, jak i starszych. HIIT może być skuteczną metodą ochrony zdrowia psychicznego oraz zapobiegania chorobom neurodegeneracyjnym.

Źródła finansowania: Badanie zostało sfinansowane ze środków Ministra Edukacji i Nauki w roku akademickim 2023/2024 w ramach Uczelnianego Projektu Badawczego AWF w Warszawie – UPB nr 1.

### Piśmiennictwo

- [1] Autry A.E., Monteggia L.M. *Brain-derived neurotrophic factor and neuropsychiatric disorders*. Pharmacol. Rev. 2012, 64:238-258.
- [2] Arazi H., Babaei P., Moghimi M., Asadi A. *Acute effects of strength and endurance exercise on serum BDNF and IGF-1 levels in older men*. BMC Geriatr. 2021, 21:50.
- [3] Boyne P., Meyrose C., Westover J., Whitesel D., Hatter K., Reisman D.S., Cunningham D., Carl D., Jansen C., Khoury J.C., Gerson M., Kissela B., Dunning K. *Exercise intensity affects acute neurotrophic and neurophysiological responses poststroke*. J. Appl. Physiol. 2019, 126(2):431-443.
- [4] Buzdagli Y., Ozan M., Baygutalp N., Oget F., Karayigit R., Yuce N., Kan E., Baygutalp F., Ucar H., Buzdağlı Y. *The effect of high-intensity intermittent and moderate-intensity continuous exercises on neurobiological markers and cognitive performance*. BMC Sports Sci. Med. Rehabil. 2024, 16(1):39.
- [5] Ceylan H.İ., Silva A.F., Ramirez-Campillo R., Murawska-Ciałowicz E. *Exploring the Effect of Acute and Regular Physical Exercise on Circulating Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels in Individuals with Obesity: A Comprehensive Systematic Review and Meta-Analysis*. Biologia. 2024, 13:323.
- [6] Da Cunha L., Feter N., Alt R., Rombald A.J. *Effects of exercise training on inflammatory, neurotrophic and immunological markers and neurotransmitters in people with depression: A systematic review and meta-analysis*. J. Affect. Disord. 2023, 326:73-82.
- [7] De Lima N.S., De Sousa R.A.L., Amorim F.T., Gripp F., Diniz E. Magalhães C.O., Henrique Pinto S., Peixoto M.F.D., Monteiro-Junior R.S., Bourbeau K., Cassilhas R.C. *Moderate-intensity continuous training and high-intensity interval training improve cognition, and BDNF levels of middle-aged overweight men*. Metab. Brain Dis. 2022, 37(2):463-471.
- [8] Di Cagno A., Buonsenso A., Centorbi M., Manni L., Di Costanzo A., Casazza G., Parisi A., Guerra G., Calcagno G., Iuliano E., Soligo M., Fiorilli G.; Wb-Ems Parkinson's Group. *Whole body-electromyostimulation effects on serum biomarkers, physical performances and fatigue in Parkinson's patients: A randomized controlled trial*. Front. Aging Neurosci. 2023, 15:1086487.
- [9] Dienel G.A. *The metabolic trinity, glucose–glycogen–lactate, links astrocytes and neurons in brain energetics, signaling, memory, and gene expression*. Neurosci. Lett. 2017, 637:18-25.
- [10] Dinoff A., Herrmann N., Swardfager W., Lanctôt K.L. *The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor in healthy adults: a meta-analysis*. Eur. J. Neurosci. 2017, 46:1635-1646.
- [11] Edelmann E., Lessmann V., Brigadski T. *Pre-and postsynaptic twists in BDNF secretion and action in synaptic plasticity*. Neuropharmacology. 2014, 76:610-627.
- [12] El Hayek L., Khalifeh M., Zibara V., Abi Assaad R., Emmanuel N., Karnib N., El-Ghandour R., Nasrallah P., Bilen M., Ibrahim P., Younes J., Haider E., Barmo N., Jabre V., Stephen J., Sleiman F. *Lactate Mediates the Effects of Exercise on*

- Learning and Memory through SIRT1-Dependent Activation of Hippocampal Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF)*. J. Neurosci. 2019, 39:2369-2382.
- [13] Ernfors P., Ibanez C. F., Ebendal T., Olson L., Persson H. *Molecular cloning and neurotrophic activities of a protein with structural similarities to nerve growth factor: developmental and topographical expression in the brain*. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 1990, 87:5454-5458.
- [14] Fargali S., Sadahiro M., Jiang C., Frick A.L., Indall T., Cogliani V., Welagen J., Lin W.J., Salton S.R. *Role of Neurotrophins in the Development and Function of Neural Circuits That Regulate Energy Homeostasis*. J. Mol. Neurosci. 2012, 48:654-659.
- [15] Fernández-Rodríguez R., Alvarez-Bueno C., Martínez-Ortega I.A., Martínez-Vizcaíno V., Mesas A.E., Notario-Pacheco B. *Immediate effect of high-intensity exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy young adults: A systematic review and meta-analysis*. J. Sport Health Sci. 2022, 11(3):367-375.
- [16] Gejl A.K., Enevold C., Bugge A., Andersen M.S., Nielsen C.H., Andersen L.B. *Associations between serum and plasma brain-derived neurotrophic factor and influence of storage time and centrifugation strategy*. Sci. Rep. 2019, 9:9655.
- [17] Gottmann K., Mittmann T., Lessmann V. *BDNF signaling in the formation, maturation and plasticity of glutamatergic and GABAergic synapses*. Exp. Brain Res. 2009, 199:203-234.
- [18] Heisz J.J., Clark I., Bonin K., Paolucci E., Michalski B., Becker S., Fahnestock M. *The Effects of Physical Exercise and Cognitive Training on Memory and Neurotrophic Factors*. J. Cogn. Neurosci. 2017, 29(11):1895-1907.
- [19] Herold F., Müller P., Gronwald T., Müller N.G. *Dose-Response Matters! A Perspective on the Exercise Prescription in Exercise-Cognition Research*. Front. Psychol. 2019, 10:7.
- [20] Hsu C.C., Fu T.C., Huang S.C., Chen C.P., Wang J.S. *Increased serum brain-derived neurotrophic factor with high-intensity interval training in stroke patients: A randomized controlled trial*. Ann. Phys. Rehabil. Med. 2021, 64(4):101385.
- [21] Huang T., Larsen K.T., Ried-Larsen M. Møller N.C., Andersen L.B. *The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review*. Scand. J. Med. Sci. Sports. 2014, 24:1-10.
- [22] Inoue D.S., Monteiro P.A., Gerosa-Neto J., Santana P.R., Peres F.P., Edwards K.M., Lira F.S. *Acute increases in brain-derived neurotrophic factor following high or moderate-intensity exercise is accompanied with better cognition performance in obese adults*. Sci. Rep. 2020, 10(1):13493.
- [23] Jung B.K., Kim K. *Effects of 12 Weeks of Moderate-intensity Continuous Exercise and High-intensity Interval Exercise on Cognitive Function in Elderly Subjects*. Asian J. Kinesiol. 2024, 26(2):48-58.
- [24] Kaagman D.G.M., Van Wegen E.E.H., Cignetti N., Rothermel E., Vanbellinghen T., Hirsch M.A. *Effects and Mechanisms of Exercise on Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) Levels and Clinical Outcomes in People with Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis*. Brain Sci. 2024, 14:194.
- [25] Kovacevic A., Fenesi B., Paolucci E., Heisz J.J. *The effects of aerobic exercise intensity on memory in older adults*. Appl. Physiol. Nutr. Metab. 2020, 45(6): 591-600.

- [26] Li X., Han T., Zou X., Zhang H., Feng W., Wang H., Shen Y., Zhang L., Fang G. *Long-term high-intensity interval training increases serum neurotrophic factors in elderly overweight and obese Chinese adults*. Eur. J. Appl. Physiol. 2021, 121(10):2773-2785.
- [27] Liang Z., Zhang Z., Qi S., Yu J., Wei Z. *Effects of a Single Bout of Endurance Exercise on Brain-Derived Neurotrophic Factor in Humans: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials*. Biology. 2023, 12:126.
- [28] Müller P., Duderstadt Y., Lessmann V., Müller N.G. *Lactate and BDNF: Key Mediators of Exercise Induced Neuroplasticity?* J. Clin. Med. 2020, 9:1136.
- [29] O'callaghan A., Harvey M., Houghton D., Gray W.K., Weston K.L., Oates L.L., Romano B., Walker R.W. *Comparing the influence of exercise intensity on brain-derived neurotrophic factor serum levels in people with Parkinson's disease: a pilot study*. Aging Clin. Exp. Res. 2020, 32:1731-1738.
- [30] Proia P., Di Liegro C., Schiera G., Fricano A., Di Liegro I. *Lactate as a Metabolite and a Regulator in the Central Nervous System*. Int. J. Mol. Sci. 2016, 17:1450.
- [31] Rasmussen P., Brassard P., Adser H., Pedersen M.V., Leick L., Hart E., Secher N.H., Pedersen B.K., Pilegaard H. *Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise*. Exp. Physiol. 2009, 94:1062-1069.
- [32] Rodriguez A.L., Whitehurst M., Fico B.G., Dodge K.M., Ferrandi P.J., Pena G., Adelman A., Huang C.J. *Acute high-intensity interval exercise induces greater levels of serum brain-derived neurotrophic factor in obese individuals*. Exp. Biol. Med. (Maywood). 2018, 243(14):1153-1160.
- [33] Roeh A., Holdenrieder S., Schoenfeld J., Haeckert J., Halle M., Falkai P., Scherr J., Hasan A. *Decreased Serum Brain-Derived Neurotrophic Factor Concentrations 72 Hours Following Marathon Running*. Front. Physiol. 2021, 12.
- [34] Rosenbaum S., Tiedemann A., Sherrington C., Curtis J., Ward P.B. *Physical activity interventions for people with mental illness: a systematic review and meta-analysis*. J. Clin. Psychiatry. 2014, 75(9):964-974.
- [35] Seifert T., Brassard P., Wissenberg M., Rasmussen P., Nordby P., Stallknecht B., Adser H., Jakobsen A.H., Pilegaard H., Nielsen H.B., Seher N. *Endurance training enhances BDNF release from the human brain*. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2010, 298:372-377.
- [36] Steinman M.Q., Gao V., Alberini C.M. *The Role of Lactate-Mediated Metabolic Coupling between Astrocytes and Neurons in Long-Term Memory Formation*. Front. Integr. Neurosci. 2016, 10.
- [37] Stillman C.M., Cohen J., Lehman M.E., Erickson K.I. *Mediators of Physical Activity on Neurocognitive Function: A Review at Multiple Levels of Analysis*. Front. Hum. Neurosci., 2016, 10:626.
- [38] Tapia-Arancibia L., Aliaga E., Silhol M., Arancibia S. *New insights into brain BDNF function in normal aging and Alzheimer disease*. Brain Res. Rev. 2008, 59:201-220.
- [39] Travica N., Aslam H., O'neil A., Lane M., Berk M., Gamage E., Walder K., Liu Z., Segasby T., Marx W. *Brain derived neurotrophic factor in perioperative neurocognitive disorders: current evidence and future directions*. Neurobiol. Learn. Mem. 2022, 193:107656.

- [40] Tsai C.L., Pan C.Y., Tseng Y.T., Chen F.C., Chang Y.C., Wang T.C. *Acute effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous exercise on BDNF and irisin levels and neurocognitive performance in late middle-aged and older adults*. *Behav. Brain Res.* 2021, 413:113472.
- [41] Wang Y., Zhou H., Luo Q., Cui S. *The effect of physical exercise on circulating brain-derived neurotrophic factor in healthy subjects: A meta-analysis of randomized controlled trials*. *Brain Behav.* 2022, 12:e2544.
- [42] Walsh E.I., Smith L., Northey J., Rattray B., Cheruin N. *Towards an understanding of the physical activity-BDNF-cognition triumvirate: A review of associations and dosage*. *Ageing Res. Rev.* 2020, 60:101044.
- [43] Ying N., Luo H., Li B., Gong K., Shu Q., Liang F., Gao H., Huang T., Zheng H. *Exercise Alleviates Behavioral Disorders but Shapes Brain Metabolism of APP/PS1 Mice in a Region- and Exercise-Specific Manner*. *J. Proteome Res.* 2023, 22(6):1649-1659.

## **Urazy narządu ruchu zawodników uprawiających sport wyczynowo w dyscyplinach wytrzymałościowych**

### **Injuries to the musculoskeletal system in athletes practicing competitive sports in endurance disciplines**

**D. POLISZCZUK, T. POLISZCZUK**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: dmytro.poliszczuk@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: wytrzymałość, urazy w sporcie, cykliczny charakter ruchu*

#### **1. Wstęp**

Uprawianie sportu jest powszechną i łatwo dostępną formą aktywności fizycznej. Największym problemem wyczynowego uprawiania sportu są urazy, które często na długi czas wykluczają zawodnika z sezonu startowego. Wśród osób aktywnych fizycznie w celach zdrowotnych również zdarzają się urazy, które niekiedy zmuszają do zaniechania tej aktywności. Określenie „uraz sportowy” jest wspólną nazwą dla wszystkich rodzajów urazów, odnoszonych w trakcie aktywności sportowej. Rada Europy zaproponowała definicję urazu sportowego jako konsekwencję brania udziału w zajęciach sportowych, która wiąże się ze zmniejszeniem możliwości wykonywania wysiłku fizycznego, potrzebą pomocy medycznej i skutkami ekonomicznymi.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie najczęstszych kontuzji osób regularnie uprawiających sport w dyscyplinach wytrzymałościowych oraz głównych czynników predysponujących do ich powstawania. W pracy zostaną przybliżone także możliwości profilaktyki owych urazów.

Uraz rozumniany jest jako oddziaływanie na ustrój różnych czynników, skutkujące powstaniem w obrębie komórek, tkanek czy narządów, uszkodzeń – kontuzji. Jak więc widać kontuzja jest następstwem urazu. Kontuzje, ze względu na rozległość i charakter uszkodzeń, mogą być lekkie lub ciężkie. Lekkie charakteryzują się krótkotrwałym unieruchomieniem lub wyłączeniem z aktywności i zwykle są podatne na proste metody ich likwidacji. Z kolei konsekwencje kontuzji ciężkich są o wiele bardziej poważne. Wiążą się one z wyłączeniem osoby poddanej urazowi z uprawiania aktywności w danej dziedzinie na długi czas, ponadto wymagają szczegółowej konsultacji lekarskiej, zaprzestania treningów i całkowitego wyleczenia kontuzjowanej okolicy przed powrotem do uprawiania danej dyscypliny. Do owych kontuzji zalicza się m.in.: zerwanie ścięgien i więzadeł, złamania, naderwania mięśni, skręcenia czy zerwanie przyczepów [Jegier i wsp. 2005, Stolarczyk i Kamińska 2014].

W Polsce obecnie brak jest rzetelnych i powszechnych źródeł danych dotyczących skali problemu jakim są urazy, a osoby zainteresowane przedmiotową tematyką

niejednokrotnie zmuszone są do korzystania z nieaktualnych danych pochodzących z analiz sprzed kilkunastu lat, bądź opierać swoją wiedzę na cząstkowych analizach struktury świadczeń udzielanych w placówkach medycznych, bądź publikacjach zagranicznych, które niejednokrotnie nie znajdują przełożenia na obecną sytuację w Polsce [Mazurkiewicz i wsp. 2024, Widuchowski i Widuchowski 2008].

Dodatkowo bardzo poważny problem stanowi brak dostępu do danych, które oddawałyby w pełni problem urazów w skali globalnej. Jednym z bardzo użytecznych zbiorów danych oddających strukturę rozpoznania stanowią dane sprawozdawcze z realizacji świadczeń, którymi dysponuje Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ). Staw kolanowy jest największym i jednym z najbardziej obciążanych stawów w organizmie człowieka. Przez niektórych autorów zaliczany jest do stawów, który najczęściej ulega uszkodzeniom (15-30% wszystkich obrażeń ciała dotyczy urazów stawu kolanowego) [Kruczyński i wsp. 2019, Stolarczyk i Kamińska 2014].

Wiadomo, że współczesny sport wyczynowy jest tą sferą aktywności człowieka, dla której charakterystyczna jest urazowość i różnego rodzaju patologie obniżające sprawność psychofizyczną podczas treningów i zawodów, a czasem stanowiące nawet zagrożenie dla życia zawodnika. Według danych światowej literatury urazy związane z uprawianiem sportu stanowią około 18% wszystkich urazów, w których niezbędne jest leczenie stacjonarne. Obliczono, że w wyniku urazów związanych z działalnością sportową około 6 mln osób rocznie jest hospitalizowanych.

Liczba urazów sportowych niestety nie zmniejsza się, ale ma tendencję wzrostową. Urazy i kontuzje to prawie norma w sporcie, w którym mamy do czynienia z bezpośrednim kontaktem zawodników. Właśnie w tych „kontaktowych” dyscyplinach sportu rejestruje się kilka milionów urazów corocznie, natomiast bardzo mało jest informacji o urazowości wśród osób uprawiających sport wyczynowo w dyscyplinach wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu, w których brak bezpośredniego kontaktu. Wynika to z błędnego przekonania miłośników sportu, że to są dyscypliny sportu praktycznie bez urazowe, natomiast tylko w sportach kontaktowych są kontuzje i urazy [Dziak 2005].

Jednocześnie większość specjalistów jest innego zdania – przekonana, że treningowe, a zwłaszcza startowe obciążenia we współczesnym sporcie częstokroć są nadmierne i są przyczyną dość wysokiego poziomu urazowości. Efektem stosowania zbyt dużego obciążenia są urazy u 30-70% biegaczy długodystansowych. Naukowcy stwierdzili bezpośrednią zależność między wielkością obciążenia treningowego i liczbą zawodników, którzy odnieśli kontuzje. Pojęcie urazu sportowego rozumiane jest jako konsekwencja brania udziału w zajęciach sportowych, która wiąże się ze zmniejszeniem możliwości wykonania wysiłku fizycznego i obejmuje potrzebę pomocy medycznej.

O skali zjawiska świadczą dane statystyczne XXX Igrzysk Olimpijskich w Londynie 2012. Uczestniczyło w nich 10568 sportowców, zarejestrowano 1361 urazów i 758 zachorowań. W sumie 11% sportowców doznało co najmniej jednego

urazu, a 7% zachorowało. W XXXIII Igrzyskach Olimpijskich w Paryżu wzięło udział 10 714 sportowców z 206 krajów oraz rozdano 329 kompletów medali w 32 dyscyplinach sportu [Bania i wsp. 2016].

Częstość występowania urazów różniła się istotnie między zawodnikami różnych dyscyplin sportu. Wśród wielu przyczyn urazowości i zachorowalności sportowców wyróżnia się przyczyny o charakterze: sportowo-pedagogicznym, medycznym, organizacyjnym i materialno-technicznym.

Liczba urazów sportowych we współczesnym sporcie ulega stałemu zwiększeniu i aktualnie w różnych krajach wynosi od 10 do 17% wszystkich urazów. Jeszcze kilka dziesięcioleci temu obrażenia sportowe wynosiły jedynie 1,4% wszystkich urazów. Dlatego walka ze sportową urazowością jest bardzo istotna w prawidłowym procesie treningowym. Do rozwiązania tego problemu niezbędna jest nowoczesna diagnostyka, terapia oraz profilaktyka urazowości.

### **Przyczyny urazów narządu ruchu**

Cechą szczególną patologii narządu ruchu w grupie sportów wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu są przewlekłe mikro urazy. Stanowią one 51% wszystkich patologii. Najczęściej spotykane są zmiany o charakterze zwyrodnieniowym stawu kolanowego i skokowego, które stanowią 10,2%. Dość charakterystyczne dla przedstawionych dyscyplin sportu jest częsta zapadalność (prawie 9%) na zapalenie okostnej kości piszczelowej, najczęściej spotykana w grupie sportów biegowych. Niezależnie od przeciążeń i schorzeń stawów istotny problem stanowią przewlekłe patologie układu mięśniowego. Przewlekłe zapalenia mięśni kończyn dolnych występują znacznie częściej niż ostre patologie [Robak i Pencuła 2013].

Nadmierne obciążenia mięśniowe w wytrzymałościowych dyscyplinach sportu (zwłaszcza o charakterze siłowym i szybkościowo-siłowym) mogą stać się przyczyną powstawania zespołu opóźnionego bólu mięśniowego (DOMS), powstającego zazwyczaj 48-72 h po zajęciach treningowych. Zawodnicy i trenerzy z zasady nie poświęcają DOMS zbytnej uwagi, uznając to za naturalny efekt zajęć przeprowadzanych na początku sezonu, przejścia do większych obciążeń treningowych lub zdecydowanej zmiany akcentów treningowych. Jednak taki ból może być symptomem uszkodzenia struktury mięśniowej w konsekwencji przyczyną poważnej kontuzji.

Dla wytrzymałościowych dyscyplin sportu charakterystyczna jest większa liczba schorzeń narządu ruchu (osteochondroza, artroza, zapalenie okołostawowe, zapalenie kaletki maziowej). Schorzenia te ujawniają się u zawodników głównie podczas ćwiczeń szybkościowo-siłowych. Często spotykane są również różnorodne schorzenia kręgosłupa: osteochondroza, zmiany zeszywniające i anomalie rozwojowe. Na szczególną uwagę zasługują patologie stóp, jako jednego z ogniw narządu ruchu najbardziej obciążanego w biegach. Schorzenia te znacząco mogą ograniczyć formę sportową zawodnika. Ostre urazy stóp stanowią 49%. Wśród

nich najpowszechniejsze są urazy łąkotek oraz więzadeł krzyżowych i bocznych stawu kolanowego. Nierzadko diagnozowane są urazy mieszane układu torebkowo-więzadłowego, z zasady umiejscowione w okolicy stawu kolanowego. Tak więc najcięższe i najczęściej spotykane patologie przypadają na okolice stawu kolanowego i stanowią łącznie około 27%.

Należy również odnotować częste przypadki złamań i zwichnięć, które stanowią około 9% wszystkich patologii. Wzrost liczby ciężkich urazów w grupie sportów wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu bez wątplenia świadczy o niewłaściwościach w procesie treningowym.

Przy całej różnorodności urazów sportowych można wyszczególnić trzy podstawowe grupy przyczyn:

- przyczyny o charakterze organizacyjnym;
- przyczyny o charakterze szkoleniowo-metodycznym;
- przyczyny uwarunkowane indywidualnymi cechami samych zawodników.

Urazowość w grupie sportów wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu ma strukturę wieloczynnikową. Zależy ona od następujących właściwości: organizacji, szkoleniowo-metodycznej i materialno-technicznej bazy całego procesu szkoleniowo-treningowego i aktywności startowej oraz cech samego zawodnika.

Techniczne i metodyczne środki doskonalenia wytrzymałości są dość różnorodne, co wpływa na indywidualne właściwości powstawania patologii u zawodników poszczególnych dyscyplin sportu. Największa liczba urazów (ponad 80%) ma miejsce podczas końcowego etapu przygotowań do zawodów, a w szeregu dyscyplin sportu (np. kolarstwo) – podczas samych zawodów. W okresie przejściowym odnotowano około 20% wszystkich urazów, co w głównej mierze wynika z włączenia do procesu treningowego gier sportowych.

Wśród przyczyn urazowości o charakterze organizacyjnym (stanowiących ponad 47%) badacze wymieniają: braki w organizacji procesu szkoleniowo-treningowego (4,4%), braki w zaopatrzeniu materialno-technicznym: niewłaściwe przyrządy (3,7%), brak sprzętu sportowego (około 1%), brak właściwego obuwia sportowego (6,6%), zaniedbania sanitarno-higieniczne i niesprzyjające warunki meteorologiczne (16%). Błędy o charakterze szkoleniowo-metodycznym prowadzą do powstawania urazów u prawie 20% sportowców.

W dyscyplinach wytrzymałościowych istnieje bezpośrednia zależność między poziomem urazowości a charakterem procesu treningu. W tej sferze najczęstszą przyczyną urazowości jest zwiększenie objętości ćwiczeń treningowych, które powodują powstawanie urazów u 54,1% sportowców. Istotne zwiększenie intensywności i zmiana techniki biegu, są przyczyną ponad 43,5% urazów. Zmiana techniki wykonywania skomplikowanego układu czy ruchu bez uwzględnienia indywidualnych możliwości zawodnika nie tylko nie prowadzi do osiągnięcia celu podstawowego czyli polepszenia wyników, ale wręcz odwrotnie – prowadzi do urazów jednego z najbardziej wrażliwych ogniw – narządu ruchu. Włączenie

dużego obciążenia biegowego na nierównym terenie przy niezadowalającym stanie tras doprowadza do powstawania urazów u większości zawodników – narciarzy, biegaczy, kolarzy i przedstawicieli dystansów biegowych. Zastosowanie dużych obciążeń biegowych na nierównym terenie doprowadza do powstawania 57,1% urazów. Okoliczność ta najprawdopodobniej powinna być analizowana pod kątem przygotowania samych tras, jednak z drugiej strony, ten typ urazowości należy oceniać jako wynik określonych braków w organizacji i metodyce szkoleniowo-treningowej całego procesu przygotowawczego.

Przyczyny urazowości, które uwarunkowane są indywidualnymi właściwościami samego zawodnika, wynoszą 20%. Należy tu w pierwszej kolejności wymienić nieodpowiedni poziom przygotowania fizycznego w stosunku do stawianych zadań, brak poprawnej techniki biegu i stan zdrowia zawodnika (utajona bądź jawna patologia).

Badania wykazały że w pierwszej części zajęć treningowych urazy stwierdzano u 16,4% zawodników i są efektem nieprawidłowo przeprowadzonej rozgrzewki. Jest to szczególnie zauważalne, jeśli panuje wietrzna pogoda lub niska temperatura otoczenia. Duża liczba urazów doznawanych pod koniec zajęć treningowych (71%) wskazuje na określone niedociągnięcia treningowe. Jako podstawową przyczynę urazów w końcowej części zajęć można wskazać zmęczenie, co może świadczyć o niewystarczającym poziomie wytrzymałości lub niewłaściwie zaplanowanych przerwach wypoczynkowych.

W sportach wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu funkcjonuje dość kategoryczne podejście do konieczności technicznego doskonalenia zawodnika (technika chodu i biegu na długich dystansach, biegu łyżwiarskiego i narciarskiego). Największa liczba urazów (70%) ma miejsce podczas wykonywania ćwiczeń specjalnych, wśród których należy wymienić bieg. Pośredni mechanizm urazów uwarunkowany jest zaburzeniami koordynacji, nieprawidłowymi ruchami w stawach, tzn. forsującymi zgięciami i wyprostami w stawach. Taki sam mechanizm urazów można zaobserwować podczas nauki wszelkiego rodzaju skoków, forsujących przysiadów z obciążeniem oraz nieprawidłowych lądowań po skoku na wyprostowanych kończynach dolnych.

Przyczyny upadków podczas pokonywania trasy mogą być bardzo różne. Najczęstszą spośród nich są grupowe upadki podczas pokonywania tras kolarskich o dużym stopniu trudności, źle przygotowana zjazdowa trasa narciarska, nieprzestrzeganie przepisów (prawo pierwszeństwa) podczas pokonywania dystansu przez biegaczy (narciarstwo, lekkoatletyka).

Kontynuując omawianie mechanizmów powstawania urazów narządu ruchu w grupie wytrzymałościowych dyscyplin sportowych, należy podkreślić istnienie typowych właściwości odróżniających tę grupę dyscyplin od sportów walki i dyscyplin koordynacyjnych (np. gimnastyka). Właściwości te polegają na tym, że w przypadku tych pierwszych znacznie wzrasta urazogenna rola tzw. niespecjalistycznych

ćwiczeń. Wykonywanie ich bez fachowego przygotowania bądź nadzoru prowadzi do powstawania urazów prawie u 30% zawodników. Jest to bezwzględnie wysoki wskaźnik, na który trener powinien bezwzględnie zwrócić uwagę, co niewątpliwie będzie sprzyjać wysokiej efektywności szkolenia.

## 2. Materiał i metody

Dane pochodzące z EU Injury Database, EU-IDB (Europejska Baza Danych o Urazach) zawiera dane międzynarodowe na temat zewnętrznych przyczyn urazów leczonych w Oddziałach Ratunkowych szpitali, oraz piśmiennictwo.

## 3. Wyniki

### Urazy u biegaczy na średnie i długie dystanse

Czynnikiem urazogennym wśród biegaczy na średnich dystansach może być: nagłe przejście z jednej nawierzchni tras biegowych na inną, włączenie do systemu zajęć treningowych dużych obciążeń, długotrwała monotonna obciążenia itp. Jedną z głównych przyczyn rozwoju patologii, umiejscawiającej się w okolicach stawów u zawodników biegających na średnich, długich i bardzo długich dystansach są długotrwanie działające na stawy obciążenia statyczne i przeciążenia [Cabak i Cichopki 2020].

Wśród lekkoatletów biegających na średnich dystansach urazy kończyn dolnych stanowią 82% wszystkich urazów. Jednocześnie, odnotowuje się stosunkowo małą liczbą urazów wśród dziesięcioboistów, co można wyjaśnić ich wszechstronnym przygotowaniem. Najbardziej narażonymi ogniwami narządu ruchu u lekkoatletów biegających na średnich dystansach są okolice podudzi, stawu goleniowo-skokowego i stopy oraz odcinek lędźwiowy kręgosłupa.

Cechą szczególną patologii narządu ruchu lekkoatletów biegających na średnich dystansach jest znacząca zmiana stosunku urazów ostrych i przewlekłych, na korzyść tych ostatnich. Ostre urazy narządu ruchu u biegaczy na średnie i długie dystanse stanowią jedynie 25% ogółu patologii. Drugą najbardziej charakterystyczną cechą patologii są urazy i choroby mięśni, najczęstsze są częściowe rozerwania mięśni okolic uda, (mięsień dwugłowy i mięsień przywodziciel uda), a także mięśnia trójgłowego łydki. Uszkodzenia łąkotek stawu kolanowego stanowią jedynie 4%. Nieco częściej spotykane są kontuzje układu torebkowo-więzadłowego (5,2%), stawu skokowo-goleniowego.

Przewlekłe choroby układu narządu ruchu u biegaczy na średnich dystansach stanowią 75,2% patologii ogółem. Najczęstszymi wśród nich są choroby kości i zapalenia okostnej kości piszczelowej, które stanowią 24,7%. Częste są także przypadki patologii układu torebkowo-więzadłowego (zapalenia mięśni tylnej grupy uda i mięśnia brzuchatego łydki), a także zapalenia ścięgna Achillesa. Wśród wymienionych najczęstsze są zapalenia ścięgna Achillesa, 20,2% ogółu patologii narządu ruchu biegaczy na średnich dystansach. Przewlekłe choroby to 8,3%

i umiejscowione są przede wszystkim w okolicy stawu goleniowo-skokowego, znacznie rzadziej zaś w okolicy stawu kolanowego.

Zauważalne miejsce wśród schorzeń biegaczy na średnie dystanse zajmują choroby stóp: płaskostopie podłużne i poprzeczne, deformacja palucha oraz podwichnięcie drugiego palca stopy, a także artroza drobnych stawów środkowego odcinka stopy, powodująca różne deformacje. Patologia stóp u lekkoatletów biegających na średnich dystansach stanowią 7,2%.

Niski odsetek (3,5%) zajmuje osteochondroza kręgosłupa, co odróżnia biegaczy długodystansowych od sprinterów, gdzie ta patologia kręgosłupa występuje znacznie częściej. Również u lekkoatletów biegających na średnich dystansach, stosunkowo często spotykane są przeciążenia zespołu: mięśnie – ścięgna – okostna.

W rocznym cyklu treningowym wysoko wykwalifikowanych średniodystansowców największa liczba uszkodzeń (47,6%) przypada na okres przygotowawczy i startowy (42,9%), gdyż są one najbardziej obciążające. Znacznie mniej rejestruje się w okresie przejściowym (14,3%). Biorąc natomiast pod uwagę etapy makrocyklu to najczęściej, około 70% kontuzji powstaje podczas zajęć treningowych, znacznie mniej (14,3%) – w czasie zawodów i (5%) – w czasie najważniejszych zawodów.

Podstawowe przyczyny powstawania urazów są następujące:

- niezadawalający stan bieżni – 15,8%;
- nieodpowiednie obuwie sportowe – 10,5%;
- niesprzyjające warunki atmosferyczne – 21,1%;
- błędy w metodyce treningu – 36,8%;
- nieprawidłowa technika biegu – 15,8%.

Jednym z podstawowych niedociągnięć w czasie prowadzenia zajęć szkoleniowo-treningowych jest nieprawidłowe planowanie ogólnych i specjalnych obciążeń treningowych, przejawiające się w uchybieniach o charakterze metodycznym. Polegają one na: nagłym zwiększeniu zakresu obciążeń (notowany jest prawie u połowy poszkodowanych lekkoatletów) oraz zwiększeniu intensywności (w przypadku więcej niż jednej trzeciej sportowców). Naruszenie zasady stopniowego wzrostu intensywności i optymalizacji obciążeń przejawia się również w tym, że intensywność obciążeń wzrasta w końcowej części zajęć treningowych.

Zależność częstotliwości urazowości od części zajęcia treningowego:

- wstępna część zajęcia treningowego – 12,5%;
- podstawowa część zajęcia treningowego – 37,5%;
- końcowa część zajęcia treningowego – 50%.

Urazy na początku zajęć treningowych spowodowane są niewystarczającą rozgrzewką, zwłaszcza przy niskich temperaturach otoczenia. Wysoki odsetek urazowości w końcowej części jest wynikiem zmęczenia, powstałego na tle niewystarczającego poziomu przygotowania fizycznego lub zbyt krótkiej przerwy. Odnotowane niedociągnięcia z reguły wyrażają się w braku właściwego

przygotowania technicznego, co wpływa na mechanizm powstania urazu. W około połowie przypadków stwierdzono prosty mechanizm uszkodzenia (uderzenie, upadek, zderzenie).

U 47,6% lekkoatletów biegających na średnich dystansach uraz powstawał w wyniku wpływu złożonego mechanizmu, uwarunkowanego nieprawidłowym ruchem w stawie (nagle nieskoordynowane zginanie, prostowanie, przywiedzenie, skręcanie w stawie) a w 4,8% przypadków – kombinowany mechanizm urazu. Oznaczony mechanizm mikrourazu powstaje najczęściej w czasie wykonywania ćwiczeń specjalnych, co stanowi 70,6%. Braki w przygotowaniu mentalnym sportowców i niewystarczająca stabilność psycho-emocjonalna mogą nie tylko obniżyć poziom sprawności fizycznej i taktyczno-technicznej, ale również obniżyć poziom zdolności koordynacyjnych, co często prowadzi do powstania urazu. Potwierdza to analiza badań stanu emocjonalnego kontuzjowanych sportowców. Więcej niż 35% sportowców w momencie powstania urazu było w stanie rozluźnienia (10%) lub przeciwnie, w stanie nadmiernego pobudzenia (25%) sportowców.

W jeszcze większym stopniu wskaźniki urazowości zależą od poziomu motywacji do osiągnięcia przez sportowca jak najlepszych wyników. Ponad 45% urazów ma miejsce w trakcie ogólnego zmęczenia i niskiego poziomu stanu psychologicznego, graniczącego z brakiem chęci do uprawiania sportu. Ta okoliczność pośrednio wskazuje na stan zmęczenia i brak właściwej regeneracji, które uwarunkowane są przetrenowaniem itp. Około 35% sportowców, wprost przeciwnie, uległo kontuzji na tle skrajnie silnego pragnienia zwycięstwa za wszelką cenę (choć nie byli przygotowani na osiągnięcie takiego wyniku). Więcej niż 15% urazów u lekkoatletów biegających na średnich dystansach powstało na tle obniżonego nastroju spowodowanego przez niepowodzenia, załamania itp.

Badania wykazały, że najczęstszymi urazami wśród sprinterów były naderwania mięśni dwugłowych i czworogłowych uda, natomiast wśród biegaczy długodystansowych dominowały złamania zmęczeniowe [Stasiewicz i wsp. 2020].

Urazy narządu ruchu u lekkoatletów biegających na długich dystansach wynoszą 14%. Wśród nich najczęstszymi są rozerwania mięśni tylnej grupy uda, a także mięśnia brzuchatego łydki. Drugie miejsce zajmują uszkodzenia układu torebkowo-więzadłowego stawu skokowo-goleniowego. Uszkodzenia łąkotek i więzadeł stawu kolanowego wynoszą około 4%. U lekkoatletów biegających na długich dystansach obserwuje się również złamania kości długich. Najbardziej rozpowszechnionym rodzajem patologii wśród biegaczy długodystansowych są przewlekłe schorzenia narządu ruchu. Stanowią one 86% i umiejscowione są przede wszystkim w okolicy stawu skokowo-goleniowego i stopy. Jednakże dosyć rozpowszechnione są przewlekłe stany zapalne więzadeł, zapalenia mięśni tylnej części uda i mięśni brzuchatych łydki, a szczególnie częste są przewlekłe zapalenia ścięgna Achillesa. Przewlekłe zapalenie kaletki maziowej w okolicy przyczepu ścięgna Achillesa do guza kości piętowej stanowią około 29% ogółu patologii. Przeciężeniowe zapalenie okostnej kości piszczelowej występują w 17,8%.

Choroby stawów: zniekształcające artrozy, a także przewlekła mikrourazowość układu torebkowo-więzadłowego stawu goleniowo-skokowego stanowią ponad 14% patologii i należą do kategorii najcięższych i trudno poddających się terapii.

Podobnie jak u lekkoatletów biegających na średnich dystansach u zawodników długodystansowych często rozpowszechnione są choroby stóp: podłużne i poprzeczne płaskostopie, często połączone z deformacją palców, stanowiące 14,0% ogółu patologii. Choroby stóp u sportowców również należą do kategorii trudno poddających się leczeniu. Nierzadko obserwowane są: krwotoczne wylewy punktowe i idące za tym obrzęki tkanki łącznej podskórnej, otaczające ścięgno Achillesa i mięsień prostownik stopy; zapalenia nerwu kulszowego; złamania przeciążeniowe drugiej i trzeciej kości śródstopia, powstające u biegaczy w czasie długiego i obciążającego treningu przygotowującego do zawodów.

### **Urazy u maratończyków**

Ostre urazy układu ruchu u lekkoatletów biegających na bardzo długich dystansach (maratończyków) stanowią jedynie 9,4%. Wśród nich najczęściej (6,3%) diagnozowane są urazy układu torebkowo-więzadłowego stawu skokowo-goleniowego, kolanowego i biodrowego. Złamania stanowią 3,1% patologii narządu ruchu u maratończyków. Umiejscawiają się one wyłącznie w okolicy śródstopia i powstają przy upadkach, zderzeniach i uderzeniach w różnorodnych sytuacjach treningowych, zwłaszcza podczas zajęć ogólnorozwojowych [Skarżyński 2004].

Przewlekłe schorzenia narządu ruchu u maratończyków stanowią 90,5% ogółu patologii. Wśród nich najbardziej rozpowszechnione są choroby stawów: artrozy deformujące stawu goleniowo-skokowego i środkowego odcinka stopy (18,8%) – najwyższe wskaźniki wśród wszystkich biegowych dyscyplin sportu.

Równie często występują przewlekłe choroby mięśni i ścięgien (18,7%). Dotyczy to głównie przewlekłych zapaleń ścięgna Achillesa i kaletki ścięgna Achillesa. Patologia stóp (różne rodzaje płaskostopia) spotykana jest u 15,4% kontuzjowanych. Patologia kręgosłupa wynosi 3,1%.

Analiza danych dotyczących częstotliwości i specyfiki urazów i przeciążeń narządu ruchu w dyscyplinach biegowych pokazuje, że istnieje określona zależność pomiędzy rodzajem programu biegowego a liczbą urazów i schorzeń. Im dłuższy jest dystans biegu, tym wzrasta liczba urazów przewlekłych natomiast zmniejsza się liczba urazów ostrych.

### **Urazy u biegaczy narciarskich**

Biegi narciarskie należą do kategorii mono strukturalnych ćwiczeń cyklicznych. Cechuje je maksymalna i submaksymalna moc stosowanych obciążeń fizycznych z wykorzystaniem naturalnych lub sztucznych nawierzchni śniegowych oraz specjalistycznego sprzętu (narty, nartorolki itp.). Obciążenia wytrzymałościowe obejmują głównie bieg po równym i zróżnicowanym terenie oraz specjalistyczne ćwiczenia techniczne.

Podstawowymi czynnikami sprzyjającymi powstawaniu urazów u narciarzy klasy mistrzowskiej są: źle przygotowane trasy śniegowe, nieodpowiednio dobrany sprzęt narciarski, niewłaściwe planowanie zajęć, błędy w procesie szkoleniowo-treningowym, nieprawidłowe planowanie, nieprawidłowości w technice biegu, niedostateczny poziom przygotowania fizycznego, technicznego itp. Najbardziej podatnymi na urazy u narciarza są kończyny dolne (okolice stawu kolanowego i skokowo-goleniowego), mięśnie obręczy biodrowej oraz lędźwiowy odcinek kręgosłupa.

Wśród narciarzy-biegaczy ostre urazy układu ruchu stanowią 54,6% ogółu kontuzji. Należy jednak wyraźnie odróżnić strukturę urazowości narciarzy od biegaczy lekkoatletycznych na średnich a szczególnie na długich dystansach. Uzasadnione jest to specyfiką samej dyscypliny sportu. Wśród ostrych urazów narządu ruchu najczęstszymi są uszkodzenia łąkotek stawu kolanowego (18,9% wszystkich patologii), uszkodzenia więzadeł krzyżowych i bocznych oraz łączne uszkodzenia układu torebkowo-więzadłowego. Stanowi to 32,6% wszystkich schorzeń układu ruchu.

Ostre stłuczenia tkanki mięśniowej i złamania długich kości wynoszą łącznie 13,5% i zaliczane są do kategorii najcięższych urazów, a w głównej mierze dotyczą okolic bioder. Złamania lokalizują się najczęściej w okolicy stawu skokowo-goleniowego i przedramienia, a związane są z upadkami na zjazdach oraz wirażach. Należy podkreślić, że większość ciężkich urazów spotyka się głównie podczas upadków na zjazdach. Należy również wskazać zwichnięcia stawu ramiennobarkowego (3% wszystkich urazów), które źle leczone prowadzą do nawykowego zwichnięcia stawu ramiennobarkowego. Ostatnio u sportowców wzrasta liczba urazów czaszkowo-mózgowych. Ich przyczyną są najczęściej: niedostateczny poziom wytrenowania oraz zbyt szybkie i nieostrożne prowadzenie biegu.

Wśród przewlekłych schorzeń układu ruchu znaczną rolę odgrywają choroby kręgosłupa, głównie osteochondroza i anomalie rozwojowe lędźwiowego odcinka kręgosłupa. Anomalie rozwojowe odcinka krzyżowo-lędźwiowego stanowią 6,1% wszystkich patologii. Przewlekła patologia mięśni obręczy biodrowych stanowi około 4%, a zjawisko przeciążeniowej okostnopatii kości piszczelowej stanowi około 9% patologii.

Analizując roczny cykl treningowy narciarzy-biegaczy klasy mistrzowskiej, około połowy urazów (47,5%) przypada na przygotowawczy okres szkolenia. Znacznie mniej obrażeń rejestrowanych jest w okresie startowym (25%). W okresie przejściowym, notuje się 27,5% urazów. Dochodzi do nich kiedy do procesu treningu włączana jest duża liczba ćwiczeń ogólnorozwojowych, o złożonej koordynacji oraz gier zespołowych. Urazy powstają głównie w czasie zajęć treningowych (65%), natomiast w czasie samych zawodów jest nieznaczna i wynosi około 8%.

Przyczyny urazowości sportowej u narciarzy-biegaczy klasy mistrzowskiej są następujące:

- nieprawidłowa organizacja procesu szkoleniowo-treningowego i zawodów – 5%;
- niezadowalający stan tras – 20%;
- niezadowalający stan urządzeń i sprzętu – 2,5%;
- wady obuwia – 2,5%;
- niesprzyjające warunki meteorologiczne – 15%;
- nieodpowiednie warunki sanitarno-higieniczne – 5%;
- błędy metodyczne (niewłaściwe planowanie obciążeń – 12,5%);
- błędy techniczne – 5%;
- nieprzestrzeganie przepisów sportowych – 15%;
- inne przyczyny – 17,5%.

Częstotliwość obrażeń urazowych w zależności od części zajęć treningowych kształtuje się następująco:

- wstępna część treningu – 16,3%;
- zasadnicza część treningu – 29,7%;
- końcowa część treningu – 54%.

Urazowość na początku treningu, co jest oczywiste, uwarunkowana jest niedostatecznym przygotowaniem do intensywnej pracy (niewłaściwa rozgrzewka, niewystarczająca koncentracja, niewłaściwy stan psychiczno-emocjonalny). Powstawanie urazów w końcowej części treningu zasadniczo uwarunkowane jest brakiem korelacji między zakresem i intensywnością obciążeń psychofizycznych, a poziomem wytrenowania zawodnika, co pośrednio wskazuje na braki w jego przygotowaniu ogólnym i specjalistycznym.

W procesie wieloletnich przygotowań narciarzy-biegaczy błędy metodyczne prowadzą do utrwalenia błędów o charakterze technicznym, które na poszczególnych etapach szkolenia młodego narciarza mogą być traktowane jako osobnicze i zarazem specyficzne cechy techniki biegu. Później hamują one proces doskonalenia formy sportowej i nie sprzyjają wzrostowi wyników sportowych.

Uszkodzenia pourazowe i schorzenia narządu ruchu u narciarzy powstają podczas stosowania obciążeń specjalistycznych (61,1% zawodników). Dosty często (38,9%) powstają one również podczas udziału w grach zespołowych oraz ćwiczeniach uzupełniających i ogólnorozwojowych, włączanych do procesu treningowego, które są niespecyficzne dla danego zawodnika.

Środki profilaktyczne. Przeciwdziałanie powstałym urazom podczas zajęć treningowych powinno być nakierowane na usuwanie wyżej wymienionych przyczyn. Największa liczba urazów powstaje w wyniku niedostatecznego przygotowania technicznego, stąd istotne znaczenie ma prawidłowa organizacja i metodyka szkolenia początkujących narciarzy. W tej kwestii lekarz i trener powinni mieć na uwadze:

- konieczność konsekwentnego uczenia prawidłowej techniki poruszania się na nartach; kształtowanie równowagi i umiejętności utrzymywania się na nartach

bez kijków; nieprzechodzenie (zbyt wczesne) na zróżnicowany teren, zanim nie będzie opanowana umiejętność poruszania się po równym terenie;

- miejsce do zajęć dla początkujących powinno mieć dobrą pokrywą śnieżną; należy unikać oblodzonego i rozjeżdżonego śniegu; miejsca najczęstszych upadków podczas zjazdu powinny być dobrze znane narciarzom. W czasie zawodów organizatorzy powinni zadbać, by nie było osób postronnych na trasie przejazdu (szczególnie na zjeździe z góry);
- czas trwania poszczególnych zajęć powinien być limitowany, z uwzględnieniem stopnia zmęczenia i popełnianych błędów.

Kolejnym zadaniem trenera i lekarza powinno być właściwe wyposażenie narciarza. Przed zawodami i treningiem narty i mocowania powinny być dokładnie sprawdzone pod kątem ewentualnych defektów, kijki powinny być zaopatrzone w pierścienie i uchwyty, narty powinny być posmarowane zgodnie z normą. Szczególną uwagę należy zwracać na stan funkcjonalny nart, wiązań oraz butów.

### **Łyżwiarstwo**

Łyżwiarstwo należy do kategorii sportów wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu, polegających na lokomocji o mocy maksymalnej (bieg na 500 m), submaksymalnej (1000-1500 m), dużej (3000-5000 m) i umiarkowanej (bieg na 10000 m). W skład kompleksu środków treningowych biegacza klasy mistrzowskiej wchodzi duży zakres ćwiczeń biegowych, ćwiczenia siłowe, ćwiczenia lekkoatletyczne, ćwiczenia ogólnorozwojowe oraz gry zespołowe.

Czynnikami urazogennymi są: duże prędkości poruszania się i brak umiejętności utrzymania się na łyżwach, różnego rodzaju błędy organizacyjno-metodyczne, niedostateczna kontrola lekarska oraz niewystarczająca odporność psychiczna i zmęczenie.

### **Profilaktyka urazowości wśród zawodników uprawiających sport wyczynowo w dyscyplinach wytrzymałościowych**

Rozszerzenie granic funkcjonalnych zdolności organizmu zawodnika, umożliwiające lepszą efektywność procesu adaptacji, kompensacji i regeneracji wraz z właściwościami genetycznymi i czynnikiem selekcji, stanowią podstawę osiągnięcia wysokiej formy sportowej. Zdrowie zawodników jest integralnym wskaźnikiem skuteczności stosowanego systemu przygotowań oraz dostosowania trybu i metodyki treningu do indywidualnych możliwości czynnościowych organizmu.

W tych przypadkach, kiedy pokonywane przez zawodników zarówno fizyczne jak i emocjonalne obciążenia przekraczają ich możliwości funkcjonalne, mogą pojawić się czynnościowe i organiczne zaburzenia. Ich negatywny wpływ pogłębiają niekorzystne warunki środowiska zewnętrznego, zaburzenia rytmów biologicznych lub występowanie stanów chorobowych.

Analiza literatury dotyczącej oceny stanu zdrowia i zachorowalności wśród różnych grup społecznych i czołowych sportowców wykazała, że metodyczne

podejście w ocenie stanu zdrowia czołowych sportowców nieco różnią się od metod badania osób nie uprawiających sportu [Złotkowska i wsp. 2015, Engebretsen i wsp. 2013].

Mianem zdrowia określa się stan pełnego dobrostanu fizycznego, psychicznego oraz społecznego. Zdrowie jest zatem wartością, której nie można sprowadzać jedynie do zdrowia fizycznego. Składają się na nie zarówno równowaga emocjonalna, jak i rozwój fizyczny oraz stan psychiczny. Wskaźniki zdrowia pozwalają również ocenić całościowe oddziaływanie na organizm człowieka wpływów społecznych, ekonomicznych, ekologicznych i demograficznych.

We współczesnych warunkach człowiek stale poddawany jest wpływowi różnorodnych czynników stresowych. Najczęściej oddziałują one łącznie mogąc wpływać niekorzystnie na stan zdrowia. Współczesne patologie u ludzi wywołują m.in. następujące czynniki:

- nadmiar napięć psycho-emocjonalnych;
- obniżona aktywność fizyczna;
- egzogenne i endogenne zatrucia;
- utajone formy awitaminozy;
- wzmożenie procesów utleniania w obrębie wewnątrzkomórkowych lipidów błonowych.

Należy podkreślić, że dla zawodnika dominującym czynnikiem oddziaływania na organizm jest stała i zwiększona aktywność mięśniowa. Pojęcie „zdrowia” u zawodników klasy mistrzowskiej zawiera w sobie nie tylko normalną, bądź zaburzoną strukturę organów i funkcji, lecz również możliwość płynnej adaptacji do długotrwałego wysiłku fizycznego bez powstawania zjawisk patologicznych. Należy przy tym uwzględnić fakt, że duże możliwości kompensacyjne, duża odporność organizmu sportowców na oddziaływanie różnorodnych szkodliwych czynników może wpływać na powstawanie wolno i bezobjawowo przebiegających chorób.

Wyżej wymienione zjawiska narzucają konieczność stałego doskonalenia metodyki badań lekarskich oraz monitorowania stanu zdrowia sportowców klasy mistrzowskiej. Dotyczy to zarówno wykorzystania nowoczesnych środków diagnostycznych, jak i doskonalenia organizacji zaplecza szkoleniowo-medycznego. Równie ważne jest wykorzystanie wyników badań lekarskich w celu właściwego korygowania i zarządzania procesem treningowym.

Ocena stanu psychofizycznego zawodnika bazuje na diagnostyce stanu zdrowia i funkcjonalnych możliwości organizmu. Od stanu zdrowia sportowców uzależniony jest poziom ich możliwości czynnościowych i niezawodność organizmu podczas wysiłków startowych. Wybór metod diagnostycznych w tym przypadku ukierunkowany powinien być, z jednej strony, na rozwiązywanie problemów kliniczno-diagnostycznych (np. wykrycie utajonych stanów patologicznych i prepatologicznych), a z drugiej strony dotyczy oceny stanu czynnościowego zawodników z uwzględnieniem specyfiki dyscypliny sportu i ukierunkowania procesu treningu. Właśnie charakter

i ukierunkowanie procesu treningu w znacznym stopniu określają nowy etap zarówno w sferze diagnostyki czynnościowej, jak i w wykrywaniu stanów prepatologicznych i patologii sportowców.

Norma fizjologiczna charakteryzuje zakres możliwości kompensacyjnych organizmu, zapewniający niezbędny poziom wydolności i optymalny czas regeneracji po wysiłku. Przejście od normy do patologii jest nie tyle ilościową co jakościową zmianą stanu.

Do podstawowych założeń oceny stanu zdrowia zawodników klasy mistrzowskiej należy zaliczyć:

- zasadę kompleksowej diagnostyki z obowiązkowym określeniem zarówno stanu zdrowia, jak i funkcjonalnych możliwości organizmu sportowców;
- diagnostykę czynnościową z uwzględnieniem specyfiki aktywności fizycznej i adaptacji wysiłkowej;
- zasadę aktywnego wykrywania zachorowań, opartą na obowiązkowych okresowych badaniach lekarskich;
- unifikację metod i programów badań dla zawodników różnych grup dyscyplin sportu.

Podczas stawiania diagnozy u zawodników uprawiających sport wyczynowo należy kierować się następującymi zasadami:

- kliniczną oceną stanu zdrowia;
- oceną poziomu stanu funkcjonalnego organizmu w stanie spoczynku i w odpowiedzi na wysiłek (możliwość dokonania oceny normalnej lub zmienionej funkcji);
- oceną poziomu i rodzaju przemian energetycznych w wybranych dyscyplinach sportu (wysiłki aerobowe, anaerobowe, mieszane);
- oceną głównych wskaźników zdolności wysiłkowej (sprawność termoregulacji, koordynacja nerwowo-mięśniowa, wydolność sercowo-płucna).

Jednym z najczęstszych zaburzeń stanu zdrowia i stanu funkcjonalnego sportowców klasy mistrzowskiej trenujących sporty wytrzymałościowe jest stan przetrenowania. Patogeneza zespołu przetrenowania jest dość złożona a jego wszystkie mechanizmy nie są do końca poznane. W wielu przypadkach stwierdza się zwiększone napięcie układu sympatycznego i/lub układu parasympatycznego. Towarzyszą temu zjawisku odchylenia od normy w zapisie elektroencefalogramu (EEG), zaburzenia adrenokortykotropowej funkcji przedniej części przysadki mózgowej i zmniejszone wydzielanie glikokortykoidów przez korę nadnerczy.

Dla poszczególnych dyscyplin sportu charakterystyczne są różne stany patologiczne. Dla przykładu, intensywne wysiłki o charakterze tlenowym i beztlenowym często są przyczyną przeciążenia mięśnia sercowego. Najlepiej zbadana została patogeneza uszkodzenia mięśnia sercowego przy przewlekłym zmęczeniu fizycznym.

Istotne znaczenie w patogenezie przeciążenia mięśnia sercowego w zespole przetrenowania u sportowców trenujących wytrzymałość może mieć hipokaliaemia

i inne zaburzenia przemiany elektrolitowej, zaburzenie wegetatywnej regulacji pracy serca, wyrzut amin katecholowych oraz przewlekłe ogniska zapalne (wpływ infekcyjno-toksyczny, infekcyjno-alergiczny).

Podstawowym czynnikiem etiologicznym przeciążeń mięśnia sercowego jest długotrwały i nadmierny wysiłek fizyczny oraz niewspółmierność aktywności treningowej i startowej w stosunku do poziomu przygotowania zawodnika. Również obniżenie tolerancji organizmu na wysiłek fizyczny na skutek niewystarczającego odpoczynku, przebytej choroby, aklimatyzacji do nowych warunków (góry, zmiana strefy klimatyczno-geograficznej) może doprowadzić do tego, że standardowy trening lub startowy wysiłek stanie się nadmierny.

Okres rocznego makrocyklu przygotowań sportowców ma wpływ na częstotliwość pojawiania się zaburzeń pracy serca. Intensyfikacji wysiłku w okresie startowym z zasady towarzyszy zwiększenie ilości zaburzeń: w grupie wytrzymałościowych dyscyplin sportu o cyklicznym charakterze ruchu z 15,1% w okresie przygotowawczym do 20% w okresie startowym, w grupie dyscyplin ze skomplikowaną strukturą ruchów od 7,7 do 33%.

Analiza elektrokardiogramów wykazała, że na równi z zaburzeniem procesu repolaryzacji mięśnia sercowego u poszczególnych zawodników ujawniły się również inne zmiany EKG (niemiarowość zatokowa, skurcze dodatkowe, blok przedsionkowo-komorowy I stopnia).

Istotne znaczenie w diagnostyce czynnościowej układu sercowo-naczyniowego zawodników wytrzymałościowych dyscyplin sportu odgrywa echokardiografia. Przy pomocy tej metody można ocenić ważne właściwości kontroli mechanizmów adaptacji serca do różnego rodzaju wysiłków. Stosunek pogrubienia ścian mięśnia sercowego i zwiększenia pojemności komór odzwierciedla zarówno indywidualne drogi i mechanizmy przystosowania układu krążenia do wymogów stawianych przez systematyczny trening, jak i wynika z charakteru samej dyscypliny sportu (np. ćwiczenia szybkościowo-siłowe, wytrzymałościowe).

W trakcie adaptacji organizmu zawodnika do wysiłku wytrzymałościowego i utrzymania wysokiego poziomu wydolności fizycznej równie istotną rolę odgrywa wątroba. Bez względu na istotne i różnorodne funkcje wątroby, do dnia dzisiejszego stosunkowo mało uwagi poświęca się badaniom stanu funkcjonalnego wątroby sportowców wyczynowych. Jednak wiele danych wskazuje na zmiany w funkcjonalnym stanie wątroby i dróg żółciowych, zachodzące u zawodników po intensywnym wysiłku treningowym i startowym.

Zaburzeniom funkcji wątroby często towarzyszą odczucia bólowe w prawym podżebrzu oraz powiększenie wątroby. Pojawianie się bólów u zawodników trenujących wytrzymałość uwarunkowane jest przejściowymi zmianami w wypełnianiu krwią wątroby, jako swoistego zbiornika krwi. W celu wczesnego wykrywania ryzyka schorzeń wątroby wśród sportowców, można wykorzystać kompleksowy program badań skriningowych, oceniający stopień zaburzenia funkcji

wątroby i dróg żółciowych (np. taki program jest opracowany dla lekarzy sportowych pracujących w warunkach obozów szkoleniowo-treningowych).

W warunkach współczesnego sportu coraz większą rolę odgrywają badania autonomicznego układu nerwowego jako ważnego ogniwa w systemie medycznej kontroli funkcjonalnego stanu organizmu i stanu zdrowia zawodników. Wiadomo, że racjonalny trening, przy odpowiedniej motywacji zawodników, pozwala maksymalnie wykorzystać rezerwy funkcjonalne oraz zapewnić niezbędną ekonomizację funkcji podczas wysiłków wytrzymałościowych i określić szybkość procesów regeneracyjnych. Zaburzenie regulacji wegetatywnej jest wczesnym objawem zakłóconego procesu przystosowywania się organizmu zawodnika do wysiłku i pociąga za sobą obniżenie wydolności fizycznej.

Podstawowymi czynnikami etiologicznymi doprowadzającymi do rozwoju zaburzeń neurowegetatywnych u zawodników są:

- niedostosowanie wielkości i intensywności wysiłku treningowego do czynnościowego stanu zawodnika;
- przeciążenie psycho-emocjonalne związane z wydłużeniem okresu startowego i zwiększeniem się liczby ważnych zawodów podczas jednego sezonu;
- brak zindywidualizowanego podejścia w wykorzystaniu środków odnowy biologicznej, niewystarczające i/lub niewłaściwe ich zastosowanie;
- znaczne obniżenie średniej wieku w sporcie wyczynowym, które doprowadziło do pojawienia się wśród elit sportowych stosunkowo młodych osób z nieukształtowaną w sposób ostateczny regulacją wegetatywną.

Psychiczne, emocjonalne i fizyczne obciążenia w sporcie przy stałym wzroście intensywności wysiłku i wyraźnej tendencji do odmładzania zawodników, mogą skutkować przeciążeniem ustroju. Nie bez powodu zaburzenia funkcjonalne zajmują jedno z pierwszych miejsc w zachorowalności sportowców.

Przeciążenie mechanizmów regulujących będących skutkiem kumulacji obciążeń stresowych zawodników klasy mistrzowskiej znajduje swoje odbicie w zmianach zachodzących w układzie odpornościowym. W największym stopniu przejawiają się one w okresie startowym, kiedy to na startowe obciążenia nakłada się również obciążenie emocjonalne. Jest to zgodne ze znanym powszechnie faktem podwyższonej zachorowalności w okresie ważnych zawodów.

Wysiłek fizyczny sam z siebie nie jest przyczyną chorób układu pokarmowego, sprzyjają jednak ich wystąpieniu nieprawidłowości w procesie treningu i niewłaściwa dieta. Choroby żołądka, dróg żółciowych i jelit stanowią 35-40% wszystkich zachorowań, z którymi sportowcy zwracają się do lekarza. Nadmierny wysiłek fizyczny, który wpływa hamująco na sekrecyjną i motoryczną funkcję żołądka, sprzyja powstawaniu choroby wrzodowej. U biegaczy średnio i długodystansowych a także kolarzy w warunkach wielodniowych wyścigów stwierdzono zaburzenie dobowego rytmu sekrecji kwasu solnego. Wytwarzanie enzymów trawiennych

w żołądku aktywizuje się w godzinach nocnych, stąd dobowy rytm sekrecji upodabnia się do stanu istniejącego w chorobie wrzodowej.

Istnieją przypuszczenia, że w trakcie adaptacji do wzmożonej aktywności fizycznej u sportowców, pod wpływem kompleksu czynników nerwowych i humoralnych, dochodzi do zmian w sekrecyjnej i motorycznej funkcja żołądka. Możliwe jest także bezpośrednie (mechaniczne) oddziaływanie mięśni brzucha na żołądek.

#### 4. Podsumowanie

Urazowe uszkodzenia narządu ruchu są coraz częściej postrzegane w kontekście ważnego problemu zdrowotnego, społecznego i ekonomicznego. Jak wskazują dane statystyczne Światowej Organizacji Zdrowia urazy stanowią jeden z głównych problemów zdrowotnych naszych czasów [Bernarski i Piekarska 2020, Jegier i wsp. 2005].

Do najbardziej typowych błędów trenerów i sportowców, które prowadzą do urazów, należą:

- niewystarczające zwracanie uwagi na wyrabianie efektywnej techniki sportowej;
- nieracjonalne planowanie obciążeń, brak pełnej regeneracji organizmu przed kolejnym treningiem;
- pokonywanie zbyt długich dystansów, prowadzące do skrajnego wyczerpania;
- duża intensywność wysiłku, nieadekwatna do poziomu adaptacji tkanek: mięśniowej, kostnej i łącznej;
- nadużywanie biegów po piasku i nierównym terenie;
- niewystarczająca rozgrzewka;
- brak właściwego nadzoru nad jakością żywienia, napojów, odzieży i obuwia sportowego.

Doniesienia naukowe na temat działań profilaktycznych zapobiegających występowaniu urazów wykazują, że brak odpowiedniej odnowy biologicznej, źle dobrane obciążenia treningowe, a także brak przerw na wypoczynek zawodnika znacznie zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia makro i mikrouszkodzeń w obrębie narządu ruchu [Trybulski 2016].

Kontuzje i urazy w sportach to najczęstsza przyczyna zaprzestania kariery sportowej, zniechęcenia do wysiłku fizycznego czy obawy przed jego podejmowaniem. Zdarzają się one zarówno u osób doświadczonych jak i u amatorów. Mimo to można ich uniknąć posiadając wiedzę na temat ich powstawania oraz mechanizmów im zapobiegającym.

Coraz częściej spotyka się również zabiegi z zakresu fizjoterapii, które mogą być wdrożone przez zawodnika w formie autoterapii, czego przykładem jest: krioterapia, zastosowanie odzieży uciskowej czy automasaż z wykorzystaniem wałka piankowego (foam roller) [Płowman i Smith 2011].

Jednakże najczęstszym, najbardziej uniwersalnym i powszechnym środkiem stosowanym w procesach regeneracyjnych wśród sportowców jest masaż. Sprawdza

się w każdej fazie przygotowania motorycznego zawodnika, w czasie zawodów i okresie roztrenowania, czyli zmniejszenia obciążeń treningowych po okresie startowym [Bauer i Wiecheć 2012, Magdonald 2014].

Ważnym czynnikiem w profilaktyce dotyczącej urazowości sportowej jest racjonalne żywienie. Długotrwałe obciążenia przy niewystarczającym poborze węglowodanów grożą urazami mięśni szkieletowych. Nadmierne obciążenie może prowadzić do większego zużycia białek, które następuje po wykorzystaniu zapasów węglowodanów i tłuszczu, a to sprzyja urazom mięśni.

We współczesnym podejściu do regeneracji zawodników uprawiających sport wytrzymałościowy coraz częściej możemy zauważyć tendencję do poszukiwania metod, których stosowanie przekłada się na uzyskanie maksymalnie szybkich efektów ze strony organizmu sportowca. Efektywne procesy odnowy biologicznej po intensywnych jednostkach treningowych bardzo często definiują osiągnięcie sukcesu lub porażki w procesie treningowym [Hunter i Cheung 2012].

W nowoczesnym postępowaniu w zakresie odnowy biologicznej u sportowców publikacje naukowe wymieniają zastosowanie takich terapii jak: terapia manualna, techniki osteopatyczne, czy wprowadzenie kompleksowych koncepcji rozwoju motorycznego zawodników, np. EXOS (kompletny program przygotowania Fizjoterapia w sporcie na przykładzie zawodników uprawiających triathlon, ze szczególnym uwzględnieniem roli masażu [Jegier i wsp. 2005].

Profilaktyka urazów sportowych jest problemem do rozwiązania nie tylko przez lekarzy. Ważną rolę w działalności profilaktycznej odgrywają również trenerzy, sędziowie, ekipy techniczne, inżynierowie obiektów i urządzeń sportowych, fizjodolży, biomechanicy i inni. Profilaktyka w zakresie urazowości sportowej to złożony kompleks przedsięwzięć organizacyjno-metodycznych, nakierowanych na stałe doskonalenie bazy szkoleniowej, na poprawę warunków prowadzenia treningu i zawodów, na systematyczne podnoszenie kwalifikacji lekarzy i kadry trenersko-szkoleniowej, to również stosowanie się przez zawodników do zaleceń lekarzy. Dotyczy to wszystkich organizatorów życia sportowego, w pierwszej kolejności osób którzy planują, realizują proces szkolenia sportowego i udział zawodników w zawodach sportowych, czyli odpowiedzialnych za optymalizację szkolenia sportowego. Posiadanie wiedzy o rodzaju, częstotliwości i lokalizacji występowania urazów sportowych wśród osób uprawiających sport wyczynowo w dyscyplinach wytrzymałościowych o cyklicznym charakterze ruchu, może zmniejszyć ich występowanie podczas prac przygotowawczych do kolejnych głównych imprez sportowych.

Z przytoczonych powyżej faktów jednoznacznie rysuje się wzrastająca rola kontroli lekarskiej w podsystemie kontroli systemu treningu sportowego. Brak kontroli bezpośrednich i oddalonych efektów treningowych w kontekście stanu zdrowia organizmu zawodnika, monitorowanie stanu wrażliwych ogniw organizmu narażonych na urazy to nieodzowna dzisiaj konieczność, nie tylko ze sportowego ale

również społecznego punktu widzenia. Tylko wówczas będzie można podejmować właściwe działania profilaktyczne, które będą sprzyjać osiągnięciu stanu formy sportowej w odpowiednim czasie i miejscu.

### Piśmiennictwo

- [1] Bania A., Krzywański J., Krysztofiak H., Furgał W., Pedrycz A. *Epidemiologia urazów i zachorowań u sportowców wybranych dyscyplin sportowych za szczególnym uwzględnieniem Polskich sportowców podczas XXXI Igrzysk Olimpijskich w Rio De Janeiro*. Polish Journal of Sport Medicine. 2016, 4(32):261-267.
- [2] Bauer A., Wiecheć M. *Przewodnik metodyczny po wybranych zagadnieniach fizykalnych*. Wyd. III, AWF Wrocław. 2012.
- [3] Bernarski P., Piekarska K. *Urazy stawu kolanowego – analiza danych NFZ*. Ortopedia Traumatologia Rehabilitacja. 2020, 22,4:251-264.
- [4] Cabak A., Cichocki P. *Ocena najczęstszych urazów narządu ruchu u biegaczy długodystansowych amatorów*. Polish Journal of Sports Medicine, 2020, 36:101-106.
- [5] Dziak A. *Urazy i uszkodzenia sportowe narządu ruchu*. [W:] A. Jegier, K. Nazar, A. Dziak (red.), *Medycyna sportowa*, Warszawa: Wyd. PTMS. 2005:247-402.
- [6] Engebretsen L., Soligard T., Steffen T. *Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012*. British Journal of Sports Medicine. 2013, 47:407-414.
- [7] Haldeman S. *Spinal manipulative therapy in sports medicine*. Clinics in Sports Medicine, 1986. 5(2):277-293.
- [8] Hennig M. (red.) *Wioślarstwo*. Warszawa: Polski Związek Towarzystw Wioślarskich. 2003.
- [9] Hunter A., Cheung S. *Kolarstwo zaawansowane*. Wyd. 1, Human Kinetics, 2012.
- [10] Jegier A., Nazar K., Dziak A. *Medycyna sportowa*. Polskie Towarzystwo Medycyny Sportowej, Warszawa. 2005:247-250.
- [11] Kopeć A., Napierała M., Zukow W. *Kontuzje i urazy w wioślarstwie. Injuries and trauma in rowing*. Journal of Education, Health and Sport, 2016, 6(4):331-354.
- [12] Kruczyński J., Ruskowski K., Trzesiak T. *Obrażenia wewnętrzne stawu kolanowego*. Kruczyński J. (red.) *Wiktora Degi Ortopedia i Rehabilitacja*. wydanie II. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL. 2019:679-99.
- [13] Macdonald G.Z. *Foam rolling as a recovery tool after an intense bout of physical activity*. Medicine and Science Sports and Exercises. 2014, 46(1):131-142.
- [14] Mazurkiewicz W., Król D., Sak J., Fus-Mazurkiewicz L., Nowicki. *Najczęstsze urazy i choroby ruchu u wspinaczy oraz metody profilaktyki – przegląd literatury*. Polish Journal of Sports Medicine. 2024, 1(4):40.
- [15] Plowman S.A., Smith D.L. *Fizjologiczne skutki przetrenowania i roztrenowania*. [W:] R. Donatelli (red.), R. Gnat (red. pol. wyd.), *Rehabilitacja w sporcie*, Wrocław: Wyd. Elsevier Urban & Partner. 2011:109-125.
- [16] Robak A., Pencuła M. *Charakterystyka uszkodzeń kończyn dolnych u biegaczy oraz przebieg i wyniki rehabilitacji*. Zeszyty naukowe 17, Lublin. Wyższa Szkoła Społeczno-Przyrodnicza w Lublinie. 2013:25-47.
- [17] Skarżyński J. *Bieg maratoński*. Szczecin: Mega Sport, 2004.
- [18] Stasiewicz M., Krawczyk M., Śleżyński J. *Urazowość wśród biegaczy*. Polish

Journal of Sports Medicine. 2020, 1(4), 36:17-29.

- [19] Stolarczyk A., Kamińska M. *Staw kolanowy*. Białoszewski D. (red.) Fizjoterapia w Ortopedii. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL. 2014:270-293.
- [20] Trybulski R. *Fizykalne metody drenażu limfatycznego we wczesnej fazie fizjoterapii pourazowej narządu ruchu*. Science, Medicine and Man. 2016, 20:27-42.
- [21] Widuchowski J., Widuchowski W. *Urazy i obrażenia narządu ruchu w sporcie*. Medicina Sportiva. 2008, 13:5-15.
- [22] Złotkowska R., Skiba M., Mroczek A., Bilewicz-Wyrozumska T., Król K., Lar K., Zbrojkiewicz E. *Negatywne skutki aktywności fizycznej oraz uprawiania sportu*. Hygeia Public Health. 2015, 50(1):41-46.

## **Wpływ genów układu dopaminergicznego i serotonergicznego na chęć podejmowania ryzyka u zawodników sportów walki**

### **The impact of dopaminergic and serotonergic system genes on risk-taking intention in combat sports athletes**

**A.M. TYBURA, A. CZAJKOWSKA**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: anna.tybura@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: psychogenetyka, układ dopaminergiczny, układ serotonergiczny, geny*

#### **1. Wstęp**

Badania genetyczne w sporcie początkowo koncentrowały się głównie na aspektach fizjologicznych, takich jak wydolność tlenowa, siła mięśniowa czy zdolności regeneracyjne. W ostatnich latach badań genetycznych odkryto, że sukces sportowy nie jest warunkowany wyłącznie przez predyspozycje fizyczne – istotną rolę odgrywają również czynniki psychiczne, które determinują cechy osobowości, sposób reagowania na stres, motywację do treningu czy zdolność do podejmowania szybkich decyzji w warunkach rywalizacji oraz sytuacji stresujących [Ahmetov i wsp. 2016]. Obecnie badania pokazują, że około 30-80% różnic w osiągnięciach sportowych może wynikać z czynników genetycznych, w tym z polimorfizmów genów związanych z funkcjonowaniem mózgu i układu nerwowego [McAuley i wsp. 2021]. Analizy wpływu uwarunkowań genetycznych na zdolności psychiczne i fizyczne sportowców należą do jednej z najnowszych dziedzin genetycznych jaką jest psychogenetyka. Analizy genetyczne umożliwiają przewidywanie indywidualnych predyspozycji psychicznych sportowców oraz optymalizacja strategii treningowych w celu ich pełnego wykorzystania. Badane mechanizmy w psychogenetyce są bezpośrednio związane z funkcjonowaniem układu nerwowego, a w szczególności działaniem neuroprzekaźników takich jak dopamina i serotonina. Ich regulacja wpływa na przetwarzanie informacji w mózgu, decyzje jakie są podejmowane oraz reakcje na bodźce związane z wysiłkiem fizycznym i emocjonalnym [Humińska-Lisowska i wsp. 2024]. W celu zrozumienia jak dopamina i serotonina wpływają na wyniki sportowe, należy przyjrzeć się procesom o podłożu genetycznym jakimi są układ dopaminergiczny i serotonergiczny, które regulują mechanizmy nagrody, motywacji, kontroli emocji oraz percepcji zmęczenia.

#### **Układ dopaminergiczny**

Jeden z głównych procesów neurologicznych, którego badania w psychogenetyce dają nam podgląd na ścisły związek czynników genetycznych i psychologicznych

na predyspozycje sportowe. Układ dopaminergiczny składa się z neuronów dopaminergicznych, anatomicznych struktur dopaminergicznych, neuroprzekaźnika – dopaminę oraz receptory dopaminergiczne. Rola tego układu, która jest poddawana ciągłym badaniom w psychogenetyce to regulacja czynności motywacyjnych i emocjonalnych oraz procesów pamięciowych [Fischer i wsp. 2017]. Wzmocniona transmisja dopaminergiczna jest cechą wspólną większości środków psychoaktywnych i warunkuje rozwój uzależnienia [Cabana-Domínguez i wsp. 2021]. Wysoka aktywność układu dopaminergicznego może sprzyjać wytrwałości w treningach, podczas gdy jego niska aktywność może prowadzić do trudności w utrzymaniu regularnej aktywności fizycznej.

Układ dopaminergiczny pełni istotną rolę w regulacji aktywności neuronów oraz procesach fizjologicznych związanych z ruchem i nagrodą [Missale i wsp. 1998]. Jego funkcjonowanie jest również powiązane ze stresem oksydacyjnym, który może prowadzić do zaburzeń równowagi w układzie nerwowym [Juárez Olguín i wsp. 2016]. Kluczowe struktury tego systemu obejmują istotę czarną (substantia nigra) oraz pole brzuszne nakrywki (VTA – ventral tegmental area), które wysyłają projekcje do różnych obszarów mózgu. W skład układu dopaminergicznego wchodzi również prążkowie (striatum), będące częścią układu nigrostriatalnego odpowiedzialnego za regulację ruchów, oraz jądro półleżące (nucleus accumbens), istotne w mechanizmach motywacji i nagrody. Istotny jest również szlak mezolimbiczny, w którym dopamina działa poprzez jądro półleżące i korę przedczołową, powodując odczuwanie nagrody oraz motywację do działania.

Układ dopaminergiczny składa się z neuronów produkujących dopaminę, neurotransmitter należący do katecholamin [Ye i wsp. 2019, Howes i wsp. 2016]. Dopamina oddziałuje poprzez pięć receptorów podzielonych na dwie główne grupy: receptory D1-podobne (D1, D5), które pobudzają neurony poprzez wzrost poziomu cAMP, oraz receptory D2-podobne (D2, D3, D4), które hamują aktywność neuronów. Ich rozmieszczenie w mózgu determinuje specyficzne funkcje poszczególnych szlaków dopaminergicznych [Yamaguchi i wsp. 2019]. W zależności od aktywacji danych receptorów, poprzez zwiększoną lub zmniejszoną ekspresję genów receptorów dopaminowych, zmienia się aktywność w układzie nagrody, motywacji oraz kontroli ruchowej. Warto zauważyć, że wysoki poziom dopaminy wspomaga reakcje na bodźce zewnętrzne, poprawia refleks i precyzję ruchów, co jest kluczowe dla sportowców. Naturalnie wyższa aktywność receptorów D2 i D3 pozwala sportowcom na większą wytrzymałość oraz lepsze zdolności regeneracyjne [Missale i wsp. 1998].

Dopamina reguluje również poziom motywacji do podejmowania wysiłku fizycznego. Osoby z wyższą aktywnością mezolimbicznego układu dopaminergicznego odczuwają większą satysfakcję z ćwiczeń i chętniej je podejmują. Wzrost poziomu dopaminy w odpowiedzi na wysiłek fizyczny sprawia, że regularna aktywność może prowadzić do trwałych zmian w strukturach mózgu, poprawiając regulację emocji i odporność na stres [Arias-Carrión i wsp. 2010]. Dodatkowo aktywność fizyczna

stymuluje układ dopaminergiczny, prowadząc do zwiększonego uwalniania dopaminy w strukturach związanych z nagrodą i motywacją [Arias-Carrión i wsp. 2010]. Według Gryza i wsp. [2018], regularny wysiłek fizyczny wpływa na plastyczność neuronalną, co może poprawiać zdolności adaptacyjne organizmu. Aktywność fizyczna jest silnym stymulatorem układu dopaminergicznego, prowadzi do uwalniania dopaminy w strukturach odpowiedzialnych za motywację, nagrodę i kontrolę ruchu. Jest to jeden z mechanizmów, który sprawia, że regularne ćwiczenia poprawiają nastrój i zdolności poznawcze. Przykładem jest tzw. efekt „euforii biegacza” czyli moment, w którym intensywny wysiłek fizyczny powoduje nagły wzrost poziomu dopaminy, co może prowadzić do uczucia euforii. Regularne ćwiczenia zwiększają wrażliwość receptorów dopaminergicznych, co sprawia, że sport staje się coraz bardziej satysfakcjonujący i może prowadzić do jego uzależnienia w pozytywnym sensie [Kostowski 2000]. Mózg naturalnie zaczyna adaptować się do wysiłku fizycznego. Badania Gryza i wsp. [2018] sugerują, że przewlekły wysiłek fizyczny prowadzi do zwiększonej neurogenezy oraz zmiany ekspresji receptorów dopaminowych w korze przedczołowej. Osoby trenujące długoterminowo wykazują bardziej efektywną aktywność dopaminergiczną, co ułatwia im pokonywanie zmęczenia oraz dążenie do osiągnięć sportowych [Kesby i wsp. 2018].

Układ dopaminergiczny i serotoninergetyczny są dwoma kluczowymi elementami badanymi w psychogenetyce. Psychogenetyka koncentruje się na identyfikacji genów wpływających na funkcjonowanie układu nerwowego oraz ich interakcjach ze środowiskiem, co pozwala lepiej zrozumieć różnice indywidualne w zachowaniach, w tym w skłonności do poszukiwania wrażeń.

W badaniach nad układem dopaminergicznym pod kątem psychogenetyki sportu, istotne są geny regulujące aktywność dopaminową w mózgu. Analiza ekspresji tych genów pozwala na lepsze zrozumienie funkcji i działania układu dopaminergicznego oraz indywidualnych predyspozycji sportowych, mogąc w przyszłości przyczynić się do personalizacji treningu i strategii regeneracyjnych dla sportowców.

### **Geny układu dopaminergicznego**

Geny związane z układem dopaminergicznym odgrywają kluczową rolę w modulacji poszukiwania wrażeń w sporcie. Ich polimorfizmy mogą wpływać na skłonność do ryzykownych decyzji, wybór wymagających sportów i motywację do podejmowania ekstremalnych wyzwań [McAuley i wsp. 2021]. Do nich należą m.in. DAT1 (SLC6A3), DRD1, DRD3, DRD4 i TH, które odpowiadają za regulację tego układu poprzez zmiany w transporcie, biosyntezie oraz działaniu receptorów dopaminowych.

Kodujący transporter dopaminy, gen DAT1 (SLC6A3), odpowiedzialny jest za wychwyt zwrotny z przestrzeni synaptycznej, co reguluje jej dostępność w mózgu, determinując poziom energii i wytrzymałość psychiczną [Tonelli i wsp. 2020]. Polimorfizmy w genie DAT1, zwłaszcza 40-pz VNTR w regionie 3'UTR, były badane w kontekście ich wpływu na zachowania impulsywne i poszukiwanie wrażeń [Turic

i wsp. 2010]. Osoby z allelem 9R wykazują wyższy poziom dopaminy w synapsie, co może skutkować większą motywacją i zdolnością do utrzymania koncentracji, natomiast osoby z allelem 10R mogą wykazywać tendencję do podejmowania bardziej ryzykownych decyzji [Keltikangas-Jarvinen i Salo 2009].

Gen TH koduje enzym tyrozynohydroksylazę, biorący udział w biosyntezie dopaminy, katalizując przekształcenie tyrozyny w L-DOPA, będącą prekursorem dopaminy, noradrenaliny i adrenaliny [Ahmetov i wsp. 2016]. Regulacja aktywności tego enzymu wpływa na ilość dostępnej dopaminy w układzie nerwowym, kontrolując motywację, procesy poznawcze oraz reakcje na stres. Aktywność enzymu TH decyduje o ilości dopaminy produkowanej w neuronach dopaminergicznych. Polimorfizmy w genie TH, mogą prowadzić do różnic w wydajności biosyntezy dopaminy. Zbyt niska aktywność TH prowadzi do niedoboru dopaminy powodując obniżoną motywację i zmniejszoną zdolność do odczuwania przyjemności, natomiast jej nadmierna produkcja zwiększa pobudzenie i intensywność reakcji emocjonalnych [Ahmetov i wsp. 2016].

Receptory dopaminowe odpowiadają za przekazywanie sygnałów neuroprzekaźnikowych w różnych strukturach mózgu. Geny kodujące receptory dopaminy, takie jak DRD1, DRD3 i DRD4, są najlepiej przebadane pod kątem poszukiwania wrażeń u sportowców [Derringer i wsp. 2010].

Gen DRD1 koduje receptor dopaminy D1, który jest jednym z najczęściej występujących receptorów dopaminowych w mózgu i reguluje funkcje poznawcze oraz odpowiedź na bodźce nagradzające. Receptor D1 jest silnie ekspresowany w korze przedczołowej i jądrze półęzającym, strukturach związanych z motywacją i kontrolą impulsów. Polimorfizmy tego genu mogą wpływać na poziom aktywności receptora D1, modulując skłonność do podejmowania ryzyka oraz eksploracji nowych bodźców [Yeon Park i wsp. 2021].

Z kolei gen DRD3 koduje receptor D3, obecny głównie w układzie limbicznym, w tym w jądrach podstawnych i korze czołowej, gdzie odpowiada on za modulację motywacji oraz procesów związanych z kontrolą zachowań impulsywnych [Derringer i wsp. 2010]. Receptor D3 odpowiedzialny jest za przetwarzanie bodźców nagradzających. Zmniejszona aktywność tego receptora skutkuje obniżonym poziomem motywacji oraz może prowadzić do zwiększonej skłonności do poszukiwania intensywniejszych bodźców nagradzających, wpływając na zachowania związane z poszukiwaniem wrażeń. Sportowcy posiadający specyficzne warianty tego genu mogą wykazywać większą tendencję do podejmowania ryzykownych decyzji, a co za tym idzie, posiadać większe predyspozycje w sportach wymagających szybkiego reagowania na zmieniające się warunki [Ciężczyk 2021].

Ostatnim do omówienia genem z grupy receptorów dopaminowych, których regulacja ma wpływ na poszukiwanie wrażeń, jest gen DRD4 kodujący receptor D4. Jest jednym z najlepiej przebadanych genów związanych z poszukiwaniem nowości oraz zachowaniami eksploracyjnymi. Jego ekspresja koncentruje się w korze

przedczołowej, hipokampie oraz układzie limbicznym, które są odpowiedzialne za procesy decyzyjne, regulację emocji i reakcje na bodźce nagradzające [Michałowska-Sawczyn i wsp. 2019]. Receptor D4 bierze udział w przetwarzaniu sygnałów nagradzających, co wpływa na motywację do działania. Zmienność w genie DRD4 wpływa na modulację odczuwania satysfakcji z wykonywanych czynności, a osoby z określonymi wariantami mogą wykazywać zwiększoną potrzebę na silne bodźce do osiągnięcia poczucia nagrody.

Geny układu dopaminergicznego współdziałają w regulacji zachowań, wpływając na preferencje dotyczące sportów wymagających wysokiej dynamiki, rywalizacji i umiejętności szybkiego podejmowania decyzji. Chociaż badania nad ich wpływem dostarczają coraz więcej dowodów na ich znaczenie, pełne zrozumienie ich interakcji wymaga dalszych analiz.

### **Układ serotonergiczny**

Poszukiwanie wrażeń w sporcie to cecha osobowości skłaniająca jednostki do podejmowania ryzykownych i intensywnej aktywności fizycznych, często związanych z ekstremalnymi wyzwaniami. Neurobiologiczne podstawy tej cechy leżą m.in. w funkcjonowaniu układu serotonergicznego, który reguluje nastrój, impulsywność, stres oraz motywację [Li i wsp. 2015, McAuley i wsp. 2022, Canli i wsp. 2008]. Układ serotonergiczny składa się z neuronów serotoninoergicznych zlokalizowanych m.in. w komórkach enterochromatofilnych błony śluzowej jelit, w jądrach szwu mózgu, szyszynce i trombocytach, skąd rozchodzą się do kory czołowej, ciała migdałowatego, hipokampa oraz innych struktur odpowiedzialnych za emocje i kontrolę behawioralną [Jensen i wsp. 2008]. Serotonina (5-hydroksytryptamina, 5-HT) jest jednym z głównych neuroprzekaźników i hormonów tkankowych należących do amin biogennych. Powstaje na drodze enzymatycznych przekształceń prekursora L-tryptofanu. Jej funkcje są złożone i obejmują kontrolę krążenia krwi, pracy serca, regulację stanów emocjonalnych, snu czy pobierania pokarmu [Narkiewicz i wsp. 2001]. Serotonina (5-HT) jako neurotransmitter wpływa na motywację, poczucie nagrody oraz odczuwanie przyjemności, co czyni ją kluczowym elementem w regulacji zachowań ryzykownych [Mouradian Jr i wsp. 2023]. W psychogenetyce badania nad układem serotonergicznym koncentrują się na identyfikacji polimorfizmów genetycznych związanych z transportem serotoniny, biosyntezą oraz jej receptorami, które wpływają na impulsywność, odporność na stres i preferencje behawioralne [Arango i wsp. 2003].

Zmiany w aktywności układu serotonergicznego mogą modulować skłonność do podejmowania wyzwań, w tym ekstremalnych aktywności sportowych [Li i wsp. 2015]. Badania wskazują, że niski poziom serotoniny koreluje do większej skłonności do ryzyka, co sprzyja wyborowi sportów ekstremalnych [Arango i wsp. 2003]. Jednocześnie serotonina odgrywa rolę w regulacji lęku – jej wysoki poziom może sprzyjać zachowaniom bardziej ostrożnym, natomiast jej niedobór wiąże się z większą impulsywnością i podatnością na ryzykowne decyzje [Jensen i wsp. 2008]. Osoby

o zwiększonej aktywności układu serotonergicznego w jądrze migdałowatym mogą odczuwać silniejszy lęk, co potencjalnie ogranicza ich gotowość do podejmowania ryzykownych działań [Li i wsp. 2015]. Z kolei wyższa ekspresja receptorów 5-HT<sub>2A</sub> w korze przedczołowej wiąże się z większą impulsywnością i podejmowaniem decyzji pod wpływem emocji [Stahl 1998].

Skłonność do poszukiwania wrażeń w sporcie ma podstawy neurobiologiczne, zakorzenione w funkcjonowaniu układu serotonergicznego i jego interakcjach z układem dopaminergicznym. Warianty genetyczne związane z receptorami serotoninowymi oraz enzymami odpowiedzialnymi za syntezę neuroprzekazników mogą wpływać na osobowość sportowców, ich tolerancję na ryzyko, zdolność adaptacji do ekstremalnych warunków oraz motywację do osiągania coraz wyższych wyników [Stahl 1998].

### **Geny układu serotonergicznego**

Serotonina ma wpływ na poziom pobudzenia, kontrolę emocjonalną oraz mechanizmy radzenia sobie ze stresem, wpływając na zachowania sportowców dyscyplin o wysokim poziomie ryzyka [Guest i wsp. 2020]. W ramach badań nad genetycznymi uwarunkowaniami poszukiwania wrażeń analizuje się wpływ polimorfizmów w genach HTR1A, HTR2A, TPH2 oraz SLC6A4. Polimorfizmy te mogą modulować transmisję serotonergiczną, co wpływa na poziom lęku, zdolność do podejmowania ryzyka oraz ogólne predyspozycje psychologiczne do sportów wymagających dużej odporności psychicznej [Serretti i wsp. 2007, Yılmaz i wsp. 2020]. Geny HTR1A i HTR2A kodują receptory serotoninowe, gen TPH2 uczestniczy w syntezie serotoniny, natomiast gen SLC6A4 koduje transporter serotoniny (5-HTT) [Trushkin i wsp. 2011].

W badaniach nad sportowcami wykazano, że poszukiwanie wrażeń, definiowane jako potrzeba nowych i intensywnych bodźców, jest jednym z czynników determinujących sukces w sportach ekstremalnych oraz sportach walki. Związek ten może być pośredniczony przez aktywność układu serotonergicznego, w tym ekspresję HTR1A [Humińska-Lisowska i wsp. 2024]. Gen ten koduje receptor serotoninowy 5-HT<sub>1A</sub>, który reguluje poziom serotoniny w ośrodkowym układzie nerwowym [Humińska-Lisowska i wsp. 2024]. Receptor działa zarówno jako autoreceptor w neuronach serotonergicznym jądra szwu, jak i jako heteroreceptor w neuronach nieserotonergicznym, m.in. w hipokampie, amygdali i korze przedczołowej [Liu i wsp. 2019, Butovskaya i wsp. 2013]. Jego ekspresja wpływa na szereg procesów psychofizjologicznych, w tym na motywację, nastrój i odpowiedź na stres. Polimorfizmy genu HTR1A wpływają na regulację ekspresji receptora. Przykładowo, wariant G polimorfizmu rs6295 wiąże się z większą ekspresją receptorów 5-HT<sub>1A</sub>, prowadząc do silniejszego hamowania zwrotnego syntezy serotoniny, a w konsekwencji do obniżonego poziomu tego neuroprzekaznika [Humińska-Lisowska i wsp. 2024]. U osób aktywnych fizycznie, zwłaszcza w sportach walki, wariant ten był powiązany z wyższymi wynikami w zakresie samokontroli

i niższym poziomem unikania szkód, co może wskazywać na większą skłonność do podejmowania ryzyka i wyzwania [Humińska-Lisowska i wsp. 2024].

Z kolei gen HTR2A koduje receptor serotoninowy 5-HT<sub>2A</sub>, biorący udział w neuroprzekaznictwie serotonergicznym, wpływając na procesy poznawcze, motywację i percepcję bólu [Guest i wsp. 2022]. Receptory 5-HT<sub>2A</sub> są szeroko rozmieszczone w korze mózgowej i układzie limbicznym, a ich aktywność ma istotne znaczenie dla regulacji emocji oraz kontroli ruchowej [Butovskaya i wsp. 2013]. W sportach ekstremalnych i wysokointensywnych dyscyplinach ważnymi elementami w zachowaniu sportowca są podejmowanie ryzykownych zachowań oraz wyższa tolerancja na intensywny wysiłek, które aktywują się poprzez zwiększoną aktywność receptorów 5-HT<sub>2A</sub> [Guest i wsp. 2022]. Badania wskazują również, że niektóre warianty genu HTR2A mogą wiązać się z większą podatnością na zmęczenie i niższą motywacją do wysiłku fizycznego, ograniczając zdolność do uprawiania sportów wymagających wysokiej wytrzymałości [Guest i wsp. 2022].

Enzym syntezujący serotoninę w ośrodkowym układzie nerwowym jest kodowany przez gen TPH2 (hydroksylaza tryptofanu 2) [Zhang i Wang 2021]. Odpowiada za konwersję tryptofanu do 5-hydroksytryptofanu (5-HTP), który następnie jest przekształcany w serotoninę w neuronach jąder szwu pnia mózgu, szczególnie w jądrze grzbietowym i jądrze przyśrodkowym [Walther i wsp. 2003]. Polimorfizmy tego genu mogą wpływać na poziomy serotoniny w mózgu, aktywność układu limbicznego (w tym ciała migdałowatego i kory przedczołowej) oraz modulować poziomy dopaminy poprzez interakcje z układem nagrody, wpływając w ten sposób na zachowania eksploracyjne, ryzykowne i satysfakcję sportowców [Brown i wsp. 2005, Liu i wsp. 2023, Spagnolo i wsp. 2020, Konjevod i wsp. 2023]. Altynova i wsp. [2024] sugerują, że gen TPH2 może być ważnym markerem genetycznym w kontekście predyspozycji sportowych.

Gen SLC6A4 koduje białko transportera serotoniny (SERT), które odpowiada za wychwyt zwrotny serotoniny z przestrzeni synaptycznej do neuronów presynaptycznych. Proces ten reguluje poziom serotoniny w synapsach, wpływając na nastrój, emocje oraz zachowania związane z poszukiwaniem wrażeń [Lesch i wsp. 1996]. W kontekście sportu, zwłaszcza dyscyplin o wysokim poziomie ryzyka i intensywności, takich jak sporty walki, poszukiwanie wrażeń jest istotnym elementem motywacji i zachowania zawodników. Badania sugerują, że polimorfizmy w genie SLC6A4 mogą wpływać na skłonność do agresji i poszukiwania wrażeń u sportowców. W szczególności, obecność allelu S była powiązana z wyższym poziomem agresji i impulsywności, co może przekładać się na większą skłonność do angażowania się w sporty o wysokim ryzyku [Bilen i Eliaz 2023]. Analiza polimorfizmów genu SLC6A4, może pomóc w opracowywaniu strategii treningowych i psychologicznych, mających na celu optymalizację wyników sportowych oraz zarządzanie zachowaniami zawodników.

## 2. Podsumowanie

Psychogenetyka sportu dostarcza cennych informacji na temat indywidualnych różnic w zdolnościach psychicznych sportowców, które mogą mieć kluczowe znaczenie dla ich sukcesów. Układy dopaminergiczny i serotoninerdyczny regulują szereg procesów, od motywacji i podejmowania ryzyka, po odporność na stres i kontrolę emocjonalną. Genetyczne uwarunkowania tych systemów mogą wpływać na zdolności motoryczne, poziom motywacji i regulację emocji sportowców. Ekspresja genów takich jak DAT1, DRD1, DRD3, DRD4, TPH2, HTR1A, HTR2A i TH oraz ich polimorfizmy, modulują procesy układu dopaminergicznego i serotoninerdycznego, wpływając na indywidualne predyspozycje psychiczne w sporcie. Zrozumienie tych mechanizmów pozwala na bardziej świadome i efektywne planowanie treningów oraz optymalizację strategii sportowych.

## Piśmiennictwo

- [1] Ahmetov I.I., Egorova E.S., Gabdrakhmanova L.J., Fedotovskaya O. *Genes and Athletic Performance: An Update*. Medicine and Sport Science. 2016, 41:41-54. DOI: 10.1159/000445240
- [2] Altnynova N. i in. *Genetic markers of sports performance, interpretation of individual genotypes in the athlete's genetic passport*. International Journal of Biology and Chemistry. 2024, 17:53-73. DOI: 10.26577/IJBCh2024v17.i2.6
- [3] Armbruster D., Mueller A., Strobel A., Lesch K.P., Brocke B., Kirschbaum C. *Predicting cortisol stress responses in older individuals: Influence of serotonin receptor 1A gene (HTR1A) and stressful life events*. Hormones and Behavior. 2011, 60:105-111. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2011.03.010
- [4] Bachner-Melman R. i in. *AVPR1a and SLC6A4 Gene Polymorphisms Are Associated with Creative Dance Performance*. PLOS Genetics. 2005, 1:e42. DOI: 10.1371/journal.pgen.1008135
- [5] Bilen E., Eliaz M. *The relationship between the SLC6A4 gene polymorphism (rs 5-HTTLPR) and aggression in combat athletes*. ROL Spor Bilimleri Dergisi. 2023, 4:1423-1439. DOI: 10.5281/zenodo.10377634
- [6] Butovskaya P.R., Vasiliy A.M. *Molecular-Genetic Polymorphisms of Dopamine, Serotonin and Androgenic Systems as Molecular Markers of Success in Judo Wrestling Sportsmen*. JBABM. 2013, S3:01. DOI: 10.4172/1948-593X.S3-005
- [7] Cabana-Domínguez J., Torrico B., Reif A., Fernández-Castillo N., Cormand B. *Comprehensive exploration of the genetic contribution of the dopaminergic and serotonergic pathways to psychiatric disorders*. Transl Psychiatry. 2022, 12:1-10. DOI: 10.1038/s41398-021-01771-3
- [8] Canli T., Congdon E., Constable R.T., Lesch K.P. *Additive effects of serotonin transporter and tryptophan hydroxylase-2 gene variation on neural correlates of affective processing*. Biological Psychology. 2008, 79:118-125. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2008.01.004
- [9] Chen Y. i in. *Brain Perfusion Bridges Virtual-Reality Spatial Behavior to TPH2 Genotype for Head Acceleration Events*. Journal of Neurotrauma. 2021, 38:1368-1376. DOI: 10.1089/neu.2020.7016
- [10] Cięższyk P. *Genetyka sportowa*. Warszawa: Inga Markiewicz. 2021.

- [11] Corak A., Kapici S., Sercan C., Akkoç O., i Ulucan K. *A pilot study for determination of anxiety related SLC6A4 promoter «S» and «L» alleles in healthy Turkish athletes*. Cellular and Molecular Biology. 2017, 63(5). DOI: 10.14715/cmb/2017.63.5.6
- [12] Derringer J. *Predicting Sensation Seeking From Dopamine Genes: A Candidate-System Approach*. Psychol Sci. 2010, 21:1282-1290. DOI: 10.1177/0956797610380699
- [13] Dmitrieva J., Chen C., Greenberger E., Ogunseitani O., Ding Y.C. *Gender-specific expression of the DRD4 gene on adolescent delinquency, anger and thrill seeking*. Social Cognitive and Affective Neuroscience. 2011, 6:82-89. DOI: 10.1093/scan/nsq020
- [14] Fischer R., Lee A., Verzijden M.N. *Dopamine genes are linked to Extraversion and Neuroticism personality traits, but only in demanding climates*. Sci Rep. 2018, 8:1733. DOI: 10.1038/s41598-017-18784-y
- [15] Fulker D.W., Eysenck S.B.G., Zuckerman M. *A genetic and environmental analysis of sensation seeking*. Journal of Research in Personality. 1980, 14(2):261-281, 198. DOI: 10.1016/0092-6566(80)90033-1
- [16] Gronek J., Holdys J., Gronek P., Kryściak J. *Genetic determinants of fencing performance*. Issues of Rehabilitation, Orthopaedics, Neurophysiology and Sport Promotion-IRONS. 2013, 3(3):5-12.
- [17] Guest N., Corey P., Tyrrell P., El-Sohemy A. *Effect of Caffeine on Endurance Performance in Athletes May Depend on HTR2A and CYP1A2 Genotypes*. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2022, 36:2486. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003665
- [18] Hodgson J.A., Timmons J.A. *Genetic influences on sporting performance: A review of the evidence*. Journal of Sports Sciences. 2015, 33:42-50. DOI: 10.1080/02640414.2014.953980
- [19] Howes O.D., McCutcheon R., Owen M.J., Murray R.M. *The Role of Genes, Stress, and Dopamine in the Development of Schizophrenia*. Biological Psychiatry. 2017, 81(1):9-20. DOI: 10.1016/j.biopsych.2016.07.014
- [20] Humińska-Lisowska K. i in. *Association between polymorphism rs6295 of HTR1A serotonin receptor gene and personality traits among athletes of combat sport*. bs. 2024, 41(1):295-303. DOI: 10.5114/biol sport.2024.129478
- [21] Jasiewicz A., Grzywacz A., Jabłoński M., Bieńkowski P., Samochowiec A., Samochowiec J. *The analysis of the polymorphic variations of the dopamine gene transporter (DAT1) and the serotonin transporter (5-HTTLPR) in patients with alcohol dependence syndrome with inclusion of the phenotypic feature of sweet liking preference*. Psychiatr Pol. 2014, 48:89-103.
- [22] Keltikangas-Järvinen L., Salo J. *Dopamine and serotonin systems modify environmental effects on human behavior: A review*. Scandinavian Journal of Psychology. 2009, 50:574-582. DOI: 10.1111/j.1467-9450.2009.00785.x
- [23] Klempin F., Beis D., Mosienko V., Kempermann G., Bader M., Alenina N. *Serotonin Is Required for Exercise-Induced Adult Hippocampal Neurogenesis*. J. Neurosci. 2013, 33(19):8270-8275. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5855-12.2013
- [24] Konjevod M., Rešetar M., Matošić A., Čičin-Šain L., Štefulj J. *Association of Functional Polymorphism in TPH2 Gene with Alcohol Dependence and Personality*

- Traits: Study in Cloninger's Type I and Type II Alcohol-Dependent Inpatients.* Genes. 2023, 14(2). DOI: 10.3390/genes14020413
- [25] Liu C., Li K., Fu M., Zhang Y., Sindermann C., Montag C., Zheng X., i in. *A Central Serotonin Regulating Gene Polymorphism (TPH2) Determines Vulnerability to Acute Tryptophan Depletion-Induced Anxiety and Ventromedial Prefrontal Threat Reactivity.* medRxiv. 2023 DOI: 10.1101/2023.03.18.23287402
- [26] Liu Y-P. i in. *Transcription Factor CEBPB Inhibits the Expression of the Human HTR1A by Binding to 5' Regulatory Region In Vitro,* Genes. 2019, 10(10). DOI: 10.3390/genes10100802
- [27] McAuley A.B.T. i in. *Genetic Testing in Professional Football: Perspectives of Key Stakeholders.* J. of Sci. in Sport and Exer. 2022, 4:49-59. DOI: 10.1007/s42978-021-00131-3
- [28] McAuley A.B.T. i in. *Genetic associations with personality and mental toughness profiles of English academy football players: An exploratory study.* Psychology of Sport and Exercise. 2020, 61:102209. DOI: 10.1016/j.psychsport.2022.102209
- [29] Michałowska-Sawczyn M. i in. *Associations Between the Dopamine D4 Receptor Gene Polymorphisms and Personality Traits in Elite Athletes.* bs. 2019, 36(4):365-372. DOI: 10.5114/biolSport.2019.85457
- [30] Özlem Ö.Y. i in. *Determination of the Anxiety – Related SLC6A4 Gene Promoter “S” and “L” Alleles in Football Players,* The Journal of Neurobehavioral Sciences. 2020. 7(3):138. DOI: 10.4103/jnbs.jnbs\_26\_20
- [31] Park H.Y., Kim Y., Oh H.M., Kim T.W., Park G.Y., Im S. *Potential Prognostic Impact of Dopamine Receptor D1 (rs4532) Polymorphism in Post-stroke Outcome in the Elderly.* Front. Neurol. 2021, 12:675060. DOI: 10.3389/fneur.2021.675060
- [32] Schroeder K.B., Asherson P., Blake P.R. *Variant at serotonin transporter gene predicts increased imitation in toddlers.* Dryad. 2016, 41169 bytes. DOI: 10.5061/DRYAD.C2PT0
- [33] Serretti A., Calati R., Giegling I., Hartmann A.M., Möller H.J., Rujescu D. *Serotonin receptor HTR1A and HTR2C variants and personality traits in suicide attempters and controls.* J Psychiatr Res. 2009, 43:519-525. DOI: 10.1016/j.jpsychires.2008.06.005
- [34] Shen Q., Teo M., Winter E., Hart E., Chew S.H., Ebstein R.P. *To Cheat or Not To Cheat: Tryptophan Hydroxylase 2 SNP Variants Contribute to Dishonest Behavior.* Front. Behav. Neurosci. 2016, 10. DOI: 10.3389/fnbeh.2016.00082
- [35] Spagnolo P.A., Wang H., Martinez P. *Effects of TPH2 gene variation and childhood trauma on functional movement disorders.* J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2020, 91:814-821. DOI: 10.1136/jnnp-2019-322636
- [36] Tonelli E., Pascale E., Troianiello M. *DAT1 Gene Methylation as an Epigenetic Biomarker in Attention Deficit Hyperactivity Disorder.* Front. Genet. 2020, 11:444. DOI: 10.3389/fgene.2020.00444
- [37] Trushkin E.V., Ivanov M.A., Kornilov S.A. *Association of SLC6A4 Gene 5-HTTLPR Polymorphism with Parameters of Simple and Complex Reaction Times in Athletes.* Bull Exp Biol Med. 2011, 150:471-474. DOI: 10.1007/s10517-011-1171-9
- [38] Turic D. *DRD4 and DAT1 in ADHD: Functional neurobiology to pharmacogenetics.* PGPM, 2010, 3:61. DOI: 10.2147/PGPM.S6800

- [39] Wilkinson A., Rainone G., Springer A.E. *Sensation-seeking genes and physical activity in youth*. Genes, Brain and Behavior, 2013, 12:181-188. DOI: 10.1111/gbb.12006
- [40] Wolski H., Grabowska, A., Nowak, J. *DRD1 and DRD4 dopamine receptors in the etiology of preeclampsia*. Ginekol Pol, 2015, 86:672-677. DOI: 10.17772/gp/59240
- [41] Yamaguchi Y., Lee Y.A., Goto Y. *Dopamine in socioecological and evolutionary perspectives: Implications for psychiatric disorders*. Front. Neurosci., 2015, 9. DOI: 10.3389/fnins.2015.00219
- [42] Ye J. i in. *Polymorphisms in Dopaminergic Genes in Schizophrenia and Their Implications in Motor Deficits and Antipsychotic Treatment*. Front. Neurosci. 2019, 13. DOI: 10.3389/fnins.2019.00355
- [43] Zhang X., Wang Y. *TPH2: A Key Gene Risk Factor and Potential Therapy Target in Depression*. E3S Web Conf. 2021, 271:03070. DOI: 10.1051/e3sconf/202127103070
- [44] Dopamine Psychology Today. 2025 <https://www.psychologytoday.com/intl/basics/dopamine>.
- [45] SLC6A4 - Sodium-dependent serotonin transporter - Homo sapiens (Human), UniProtKB, UniProt. 2025. <https://www.uniprot.org/uniprotkb/P31645/entry>.
- [46] Variation in dopamine genes influences responsivity of the human reward system. 2025. <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.0805517106>.

**Rozdział II**

**BIOMECHANIKA W SPORCIE**  
**ZAGADNIENIA PRAKTYCZNE**

## Różnice w mechanicznych zmiennych wyskoku CMJ pomiędzy kobietami i mężczyznami

### Differences in mechanical parameters of the CMJ jump between women and men

Cz. URBANIK

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: czeslaw.urbanik@awf.edu.pl

**Słowa kluczowe:** *wyskok CMJ, zmienne mechaniczne, biomechanika, ekscentryczny, koncentryczny, żeński, męski*

#### 1. Wstęp

Skoczność a dokładniej wysokość wyskoku jest pożądana w znacznej części dyscyplin sportowych a szczególnie w lekkoatletyce, siatkówce, koszykówce czy piłce nożnej [Bobbert 1990], niezależnie od stopnia zaawansowania uczestnicząc w aktywności na poziomie zawodowym czy rekreacyjnym [Dadelo i wsp. 2014]. Cecha ta jest także wykorzystywaną podczas wykonywania codziennych czynności i zadań zawodowych. Tym bardziej poznanie zmiennych mechanicznych wyskoku jest pożądaną chociażby pod względem czynników warunkujących skoczność. Podczas prostej próby wyskoku Sargenta uzyskuje się jedynie wynik doskoku, który może służyć do uzyskania większej liczby danych dotyczących ruchu, ale po przeprowadzeniu dodatkowych wyliczeń matematycznych. Ten sam wynik doskoku może być uzyskany poprzez różnorodne wartości mechanicznych zmiennych ruchu, ale także kontrastujące wyniki występują przy różnych podejściach strategicznych [Pic Aguilar 2017], a także wymaganiach fizycznych i fizjologicznych [Gutierrez-Vargas 2022, Rice i wsp. 2017, Scanlan i wsp. 2015].

Dlatego do oceny parametrów mechanicznych wyskoku pionowego wykorzystuje się pomiar siły reakcji podłoża podczas wykonywania wyskoku z zamachem (Countermovement Jump, CMJ), który służy do oceny sprawności nerwowo-mięśniowej głównie dolnej części ciała [Cabarkapa i wsp. 2023]

Tego typu badanie pozwala na dokładną i obiektywną ocenę skoczności łączącej elementy głównych cech motorycznych człowieka: mocy, szybkości i koordynacji ruchowej. Pomiar siły reakcji podłoża umożliwia również określenie takich wielkości jak prędkość odbicia, praca odbicia, moc maksymalna i średnia moc mechaniczna generowana przez układ ruchu [Bartosiewicz i wsp. 1992]. Podczas wykonywania wyskoku pionowego na człowieka działają pewne siły zewnętrzne. Wśród nich wyróżniamy: siłę ciężkości przyłożoną w środku masy (środku ciężkości) oraz

pionową siłę reakcji podłoża  $R(t)$  [N] [Dziewiecki 2002]. Do pomiaru siły reakcji podłoża  $R$  w funkcji czasu wykorzystywana jest platforma dynamometryczna, która jest urządzeniem pozwalającym na określenie poziomu skoczności i mocy generowanej głównie przez kończyny dolne.

Jest to czasowo efektywna i nieinwazyjna metoda testowa, która jest w stanie odzwierciedlić siłę i moc dolnej części ciała sportowca, które są krytyczne dla wykonywania manewrów ofensywnych i defensywnych szczególnie w grach zespołowych [Ben Abdelkrim i wsp. 2010, Anicic i wsp. 2023]. Aby zagłębić się w te aspekty, platforma tensometryczna stała się nieocenionym narzędziem do przeprowadzania ważnych i dogłębnych analiz sprawności nerwowo-mięśniowej [Cabarkapa i wsp. 2023, Rauch i wsp. 2020]. W szerszym kontekście gier zespołowych, platformy były wykorzystywane do oceny strategii skoków zawodników [Heishman i wsp. 2019] szczególnie koszykarek i koszykarzy [Petrovic i wsp. 2024], ryzyka kontuzji [Philip i wsp. 2023] i wywołanych zmęczeniem zmian sprawności nerwowo-mięśniowej podczas treningów przez cały okres trwania sezonu rywalizacji [Cabarkapa i wsp. 2023, Mihajlovic i wsp. 2023].

Na podstawie swoich badań Dal Pupo i wsp. [2021] doszli do wniosku, że prędkość maksymalna oraz siła maksymalna są głównymi czynnikami wpływającymi na wysokość wyskoku pionowego.

Dzięki tej metodzie można ocenić skuteczność prowadzonych treningów o różnym charakterze [Mazur-Różycka 2017], a także porównać pod względem zmiennych dynamicznych rozwijanych podczas wyskoku CMJ różne grupy zawodnicze.

Celem niniejszej pracy była zatem ocena i porównanie bezwzględnych i względnych wskaźników mechanicznych (siły, mocy, pracy, wysokości uniesienia SC) podczas wyskoku pionowego CMJ pomiędzy kobietami i mężczyznami o wysokiej sprawności ogólnej.

## 2. Materiał i metody

### Materiał badań

W badaniach wzięło udział 130 kobiet i 320 mężczyzn, studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego. Wszyscy byli w zbliżonym wieku i charakteryzowali się wysoką ogólną sprawnością fizyczną, dla których wykonanie wyskoku pionowego na platformie tensometrycznej nie stanowiło żadnego problemu technicznego. Badani nie mieli urazów układu mięśniowo-szkieletowego, które mogłyby mieć wpływ na procedury testowe i ich wyniki. Wyrazili zgodę na udział w badaniach.

Z danych jednoznacznie wynika, że z wyjątkiem wieku, pozostałe cechy charakteryzujące badanych różnią się istotnie statystycznie. Największą różnicę zanotowano po względem masy ciała badanych. Międzyosobnicze zróżnicowanie w grupie kobiet najbardziej dotyczyło masy ciała (88,4%) oraz BMI (57%).

Wśród mężczyzn zróżnicowanie to było jeszcze większe, odpowiednio dla: masy ciała (117%) i BMI (71,9%).

**Tab. 1** Charakterystyka badanych grup, dane opisowe i statystyczne, różnice procentowe między kobietami i mężczyznami dla każdej zmiennej przedstawione jako średnia  $\pm$  SD i zakres

Zmienna	Kobiety n=130	Mężczyźni n=320	p	%
Wiek [lata]	21,1 $\pm$ 0,92	21,3 $\pm$ 1,01	0,0037	1,1
min÷max	19,5÷23,7	19,7÷24,2		
Wysokość [cm]	167,7 $\pm$ 6,38	180,1 $\pm$ 6,88	0,000	7,4
min÷max	153÷190	164÷198		
Masa ciała [kg]	60,2 $\pm$ 7,04	77,8 $\pm$ 11,19	0,000	29,3
min÷max	44,6÷84,1	53,8÷117,2		
BMI	21,4 $\pm$ 1,96	23,9 $\pm$ 2,77	0,000	11,9
min÷max	17,4÷27,4	18,3÷31,6		

### Metoda badań

Osoby uczestniczące w badaniach brały udział w pomiarach sukcesywnie, w grupach po około 20 osób. W laboratorium przeszli standaryzowaną rozgrzewkę, która obejmowała dynamiczne ćwiczenia rozciągające i skocznościowe (m.in. trucht, wypady, wysokie unoszenie kolan, wymachy, podskoki). Po zapoznaniu się z procedurą testową, każdy badany wykonał dwa maksymalne wysoki z zamachem (CMJ) na systemie trzyosiowej platformy tensometrycznej KISTLER. Platforma siłowa, próbkująca z częstotliwością 400 Hz, była kalibrowana przed każdym skokiem. Aby zmniejszyć zmęczenie, każda próba skoku była oddzielona ok. 30-sekundowym odpoczynkiem. Do analizy wykorzystano wyniki próby, w której uzyskano największą wysokość uniesienia środka ciężkości ciała badanego. Wprowadzono element rywalizacji, aby zapewnić maksymalny wysiłek i skupić się na generowaniu maksymalnej siły.

Analizie poddano zależność siła-czas wybraną na podstawie wcześniejszych badań [Cabarkapa i wsp. 2023, Dziewiecki 2002]. Podczas kontaktu stóp z podłożem, można wyróżnić dwie fazy: fazę zamachu, która związana jest z obniżeniem środka ciężkości, a w odniesieniu do mięśni z ekscentrycznym charakterem ich pracy, oraz fazę odbicia która rozpoczyna się w najniższym położeniu środka ciężkości, w którym następuje zmiana kierunku ruchu związana z uniesieniem środka ciężkości ciała aż do chwili oderwania stóp od podłoża i w odniesieniu do mięśni z koncentrycznym ich charakterem pracy.

Ze względu na charakterystyczne zmiany wartości prędkości środka ciężkości oraz przebieg siły reakcji podłoża w wyskoku pionowym można wyodrębnić 4 fazy.

### Faza statyczna

Człowiek stoi nieruchomo. Przyspieszenie środka ciężkości  $a=0$ , w związku z czym wartość reakcji podłoża  $R=G$ . Położenie SC nie zmienia się, prędkość  $v_y=0$ .

### Faza zamachu (ekscentryczna)

Rozpoczyna się z chwilą  $t_p$ , w której człowiek zaczyna przysiad. Początkowo siła reakcji podłoża  $R$  maleje ( $R < G$ ), co oznacza ujemne przyspieszenie  $SC$  (skierowane w dół) i dodatnią siłę bezwładności (skierowaną w górę). Następuje rozpędzanie w dół środka ciężkości aż do chwili  $t_m$ , w której wartość reakcji podłoża  $R = G$ , co oznacza, że  $a = 0$ . Środek ciężkości ma wówczas największą prędkość w ruchu w dół. Od tego momentu rozpoczyna się hamowanie. Siła reakcji podłoża  $R > G$ , przyspieszenie zatem staje się dodatnie [skierowane w górę]. Wartość prędkości środka ciężkości zmniejsza się. Stan ten trwa do chwili  $t_0$ , w której ruch w dół jest całkowicie wyhamowany, czyli  $v_y = 0$ . Środek ciężkości zajmuje wówczas najniższe położenie  $y_{min}$ . Jest to koniec fazy zamachu. Czas  $t_{zam} = t_0 - t_p$  nazywany jest czasem zamachu.

### Faza odbicia (koncentryczna)

Z chwilą  $t_0$  (końcem fazy zamachu) rozpoczyna się faza odbicia. W dalszym ciągu  $R > G$ , a zatem przyspieszenie środka ciężkości jest dodatnie i narasta jego prędkość skierowana w górę. Ekstremalną wartość osiąga ona w chwili  $t_v$  i od tego momentu zaczyna nieznacznie spadać. W chwili  $t_k$  następuje oderwanie stóp od podłoża i wartość reakcji  $R = 0$ . Prędkość, jaką w tym momencie posiada środek ciężkości, zwana jest prędkością odbicia  $v_{odb}$ .  $SC$  zajmuje wówczas położenie wyższe, niż w 1 fazie, oznaczone przez  $y_{odb}$ . Z chwilą  $t_k$  kończy się faza odbicia. Czas  $t_{odb} = t_k - t_0$  nazywamy czasem odbicia. Sumę czasów zamachu i odbicia nazywamy czasem wyskoku.

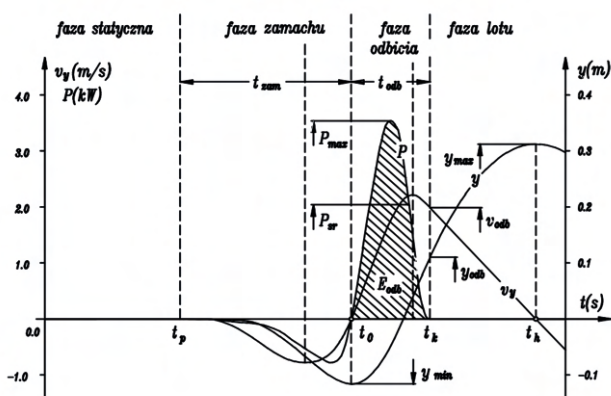
### Faza lotu

W fazie tej człowiek poddany jest działaniu jedynie siły ciężkości  $G$  (opór powietrza można pominąć). Środek ciężkości porusza się zatem ruchem jednostajnie opóźnionym (przy założonym na początku dodatnim kierunku osi  $y$ ). Jego prędkość maleje liniowo, zaś położenie zmienia się parabolicznie w funkcji czasu: początkowo wzrasta, a następnie maleje. Najwyższe położenie  $y_{max}$  środek ciężkości uzyskuje w chwili  $t_h$ . Prędkość wówczas równa jest zeru. Od tego momentu zaczyna się opadanie: prędkość staje się ujemna (skierowana w dół). Faza lotu trwa do chwili powtórnego zetknięcia się stóp z podłożem.

Z powyższego całe odbicie można podzielić na fazy: Statyczną (przed rozpoczęciem ruchu), zamachu (ekscentryczną), odbicia (koncentryczną), a efektem końcowym jest faza lotu (Ryc. 1).

W fazie zamachu (ekscentrycznej) oceniano zmienne, takie jak głębokość zamachu, siłę, moc maksymalną, moc średnią oraz pracę w fazie hamowania.

Podczas fazy odbicia (koncentrycznej) analizowano następujące zmienne: siłę, moc maksymalną, moc średnią, pracę, prędkość odbicia, wysokość uniesienia środka ciężkości oraz impuls siły w fazie koncentrycznej. Wysokość skoku określono za pomocą obliczeń impulsu-pędu.



Ryc. 1 Przykładowy schemat zmiennych mechanicznych uzyskanych podczas odbicia w wyskoku pionowym.

### Analiza statystyczna

Do oceny, czy zmienne zależne spełniają założenie normalności, użyto testu Shapiro-Wilka. Do zbadania statystycznie istotnych różnic między grupami dla zmiennych o rozkładzie normalnym (średnia  $\pm$ SD) użyto niezależnych testów t. Różnicę procentową obliczono dla każdej zmiennej zależnej. Istotność statystyczną ustalono a priori na  $p < 0,05$ . Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu STATISTIKA.

### 3. Wyniki

Statystyki porównujące badane grupy wskazują na istotne różnice pod względem cech antropometrycznych (masa, wysokość ciała, wskaźnik BMI – Tab. 1) dlatego wszystkie wartości uzyskanych zmiennych mechanicznych wyskoku przedstawiono w wartościach bezwzględnych oraz względnych, podzielonych przez masę lub wysokość ciała. Wyniki takie przedstawiono oddzielnie dla fazy zamachu (ekscentryczna) Tab. 2 i odbicia (koncentryczna) Tab. 3.

**Tab. 2** Dane opisowe i statystyki porównawcze i różnice procentowe między kobietami i mężczyznami dla danej zmiennej zależnej przedstawione jako średnia  $\pm$  SD i zakres dla fazy zamachu (ekscentryczna)

Zmienna	Kobiety	Mężczyźni	p	%
Bezwzględna głębokość zamachu G [m]	0,33 $\pm$ 0,08	0,39 $\pm$ 0,07	0,000	19,4
min÷max	0,27-0,46	0,21-0,66		
Względna głębokość zamachu G/h [%]	0,20 $\pm$ 0,03	0,22 $\pm$ 0,05	0,002	12,1
min÷max	0,13-0,28	0,11-0,35		
Bezwzględna siła szczytowa zamachu [N]	794 $\pm$ 204	1040 $\pm$ 261	0,000	30,1
min÷max	426-1654	465-2324		

Zmienna	Kobiety	Mężczyźni	p	%
Względna siła zamachu [N/kg]	13,3±3,21	13,4±3,02	0,674	1,1
min÷max	7,77-25,04	5,75-31,65		
Bezwzględna moc maksymalna zamachu [W]	449±180	655±279	0,000	45,4
min÷max	145-1073	108-1883		
Względna moc maksymalna zamachu [W/kg]	7,6±3,17	8,42±3,49	0,011	11,6
min÷max	2,4-19,7	1,64-22,65		

Wartości bezwzględne wskazują na bardzo istotne różnice pod względem wybranych parametrów mechanicznych w fazie zamachu (ekscentrycznej), a w wartościach procentowych zawierają się od 20 do 45%. Największe różnice wystąpiły dla siły i mocy szczytowej (30,5%). Natomiast uwzględniając masę ciała po przeliczeniu na wartości względne różnice nie są tak znaczące, mieszczą się w przedziale 11-12%, a w przypadku względnej siły zamachu różnica jest nawet nieistotna statystycznie (1,1%).

Porównanie wyników skrajnych w obu grupach w fazie zamachu (ekscentrycznej) wskazują na znaczne zróżnicowanie wartości mechanicznych. W grupie kobiet największe zróżnicowanie dotyczyło bezwzględnej (740%) i względnej mocy maksymalnej (817%). W grupie mężczyzn zaobserwowano podobną tendencję w odniesieniu do bezwzględnej (1740%) i względnej mocy maksymalnej (1374%).

**Tab. 3** Dane opisowe i statystyki porównawcze i różnice procentowe między kobietami i mężczyznami dla danej zmiennej zależnej przedstawione jako średnia ± SD i zakres dla fazy odbicia (koncentryczna)

Zmienna	Kobiety	Mężczyźni	p	%
Bezwzględna siła szczytowa odbicia [N]	825±199	1201±259	0,000	45,6
min÷max	526-1724	754-2517		
Względna siła szczytowa odbicia [N/kg]	13,8±3,06	15,5±2,77	0,000	12,7
min÷max	8,31-24,45	9,4-34,3		
Bezwzględna moc maksymalna odbicia [W]	1388±339	2690±645	0,000	93,7
min÷max	366-2507	1429-5354		
Względna moc maksymalna odbicia [W/kg]	23,1±5,29	34,6±6,93	0,000	50,1
min÷max	11,97-40,17	17,1-56,7		
Bezwzględna moc średnia odbicia [W]	783±212	1381±356	0,000	76,3
min÷max	258-1412	577-2603		
Względna moc średnia odbicia [W/kg]	13,1±3,29	17,8±3,99	0,000	36,5
min÷max	6,77-23,43	8,73-33,4		
Bezwzględna praca odbicia [J]	182±35	342±74	0,000	90,4
min÷max	110-288	220-615		

Zmienna	Kobiety	Mężczyźni	p	%
Względna praca odbicia [J]	3,1±0,53	4,3±0,69	0,000	46,9
min÷max	1,97-5,74	3,07-8,31		
Bezwzględna prędkość odbicia [m/s]	2,4±0,21	2,9±0,23	0,000	21,2
min÷max	1,97-3,38	2,47-4,06		
Względna prędkość odbicia v/m	24,9±3,65	26,6±4,45	0,000	7,5
min÷max	14,9-35,04	16,8-41,3		
Bezwzględna wysokość wyskoku [m]	0,3±0,05	0,44±0,0	0,000	47,4
min÷max	0,2-0,43	0,31-0,84		
Względna wysokość wyskoku h/hl	0,18±0,03	0,25±0,04	0,000	37,3
min÷max	0,12-0,26	0,17-0,46		
Bezwzględny Impuls siły [Ns]	148,8±20,5	233±38,7	0,000	56,7
min÷max	101,8-207,7	159,7-354,5		
Względny Impuls siły I/m [Ns/kg]	2,5±0,21	2,99±0,22	0,000	20,8
min÷max	2,01-3,42	2,50-4,10		

W fazie odbicia (koncentrycznej) ponownie obserwuje się znaczną przewagę wartości liczbowych wybranych zmiennych mechanicznych wyskoku po stronie mężczyzn. W ekstremalnych przypadkach różnica ta zawiera się w przedziale od 70 do ponad 90%. Dotyczy to wartości bezwzględnych dla maksymalnej mocy odbicia (93,7%), bezwzględnej pracy odbicia (90,4%), bezwzględnej mocy średniej odbicia (76,3%). Najmniejsze różnice dla wartości bezwzględnych zanotowano w odniesieniu do bezwzględnej prędkości odbicia (21,1%), bezwzględnej siły szczytowej odbicia (45,6%), czy bezwzględnej wysokości wyskoku (47,4%).

Uwzględniając zaś masę ciała uzyskano istotnie mniejsze różnice, ale w przedziale od około 7 do 50%. Najmniejsze różnice pomiędzy zmiennymi mechanicznymi podczas odbicia (koncentryczna) pomiędzy kobietami i mężczyznami wystąpiły we względnej prędkości odbicia (7,52%), względnej siły szczytowej odbicia (12,7%) oraz względnego impulsu siły (20,8%).

Na uwagę zasługują znacznie mniejsze zróżnicowanie międzysobnicze pod względem niektórych parametrów, zarówno u kobiet jak i u mężczyzn. W ekstremalnych przypadkach w fazie odbicia (koncentrycznej) dla bezwzględnej mocy maksymalnej wyniosła ona odpowiednio 390% i 374%, zaś dla względnej mocy maksymalnej 336% i 332%. Wartości te wskazują, że zróżnicowanie międzysobnicze podczas fazy odbicia (koncentrycznej) są znacznie mniejsze niż w fazie zamachu (ekscentrycznej) zarówno dla kobiet jak i mężczyzn.

#### 4. Dyskusja

W piśmiennictwie naukowym znaleźć można wiele prac dotyczących analizy zmiennych mechanicznych uzyskiwanych podczas wyskoku pionowego zarówno z zamachem jak i bez zamachu. W zależności od celu badań autorzy decydują się

na odpowiedni wariant wykonywania wyskoku. Najczęściej stosowany jest wyskok z zamachem kończynami górnymi [Bober 1994, Struzik i Zawadzki 2013], choć coraz częściej stosowany jest wyskok z rękoma na biodrach przez cały ruch, co ogranicza wpływ zamachu na wynik pomiarowy [Komi 1988, Jeffrey i wsp. 1999, Samozino i wsp. 2010, Petrovic i wsp. 2024].

Najczęściej badaniami objęci są zawodnicy różnych konkurencji sportowych, ale dominują przedstawiciele tych, w których wyskok jest jedną z składowych ich konkurencji, a w szczególności koszykówki [Chukhlantseva i wsp. 2021, Petrovic i wsp. 2024].

Skupiając się na badaniu faz zamachu (ekscentrycznej) i odbicia (koncentrycznej) podczas wyskoku CMJ, zaobserwowano wyraźne różnice specyficzne dla płci. W fazie zamachu (ekscentrycznej CMJ) stwierdzono znacznie mniejsze różnice międzypłciowe, przy czym badani płci męskiej wykazali większe wartości pod względem bezwzględnej siły szczytowej zamachu (30%) i bezwzględnej mocy maksymalnej zamachu (45%). Porównując zaś różnice w fazie odbicia (koncentrycznej CMJ), mężczyźni wykazali się znacznie wyższymi wartościami we wszystkich ocenianych zmiennych a w szczególności pod względem bezwzględnej mocy maksymalnej odbicia (94%), bezwzględnej mocy średniej odbicia (76%), czy bezwzględnej pracy odbicia (90%). Po uwzględnieniu masy ciała, czyli po przeliczeniu na wartości względne różnice są znacząco mniejsze. Jest to uzasadnione, ponieważ mężczyźni dysponowali znacznie większą masą ciała o prawie 30%.

Interesujące jest także zróżnicowanie parametrów mechanicznych podczas fazy zamachu i odbicia. Zamach związany jest z obniżaniem środka ciężkości ciała, zatem w dużej mierze zależny jest od stałej wartości przyspieszenia ziemskiego. Podczas odbicia o wartościach uzyskanych parametrów decydować będą możliwości siłowo-szybkościowe mięśni. Można więc przypuszczać, że znacznie większe różnice parametrów uzależnione są wyższym poziomem ogólnej sprawności mężczyzn.

Ogólnie rzecz biorąc, te wyniki sugerują, że mężczyźni mają znaczną przewagę w zakresie siły i możliwości generowania mocy podczas fazy odbicia, co prawdopodobnie przyczynia się do ich lepszych osiągnięć w skoku w pionie [Márquez i wsp. 2013, Ford i wsp. 2005].

Porównując wartości liczbowe uzyskane w niniejszych badaniach należy stwierdzić, że są one w wielu przypadkach mniejsze od danych z piśmiennictwa. Na przykład z badań Petrovic i wsp. [2024] wynika, że w fazie koncentrycznej CMJ kobiety uzyskały 2728 W, zaś mężczyźni 3434 W. Jeszcze większe wartości mocy maksymalnej podczas wyskoku uzyskali Cabarkapa i wsp. [2023], bo wartość ta w wyskoku zawodowych koszykarzy z zamachem wyniosła aż 6294 W. Na tym tle wartości mocy uzyskane w niniejszych badaniach prezentują się nader skromnie bo wyniosły u kobiet 1388 W, a u mężczyzn 2690 W.

Podobnie znaczące różnice zanotowano pod względem mocy szczytowej w fazie koncentrycznej w przeliczeniu na masę badanych. Petrovic i wsp. [2024] prezentują wartość dla mężczyzn 67,2 W/kg w porównaniu do 46,4 W/kg, jakie uzyskały kobiety.

W niniejszych badaniach wartości te wyniosły odpowiednio 34,62 W/kg dla mężczyzn i 23,14 W/kg dla kobiet. Różnic takich można upatrywać w fakcie, że w tych badaniach brali udział studenci, a w poprzednio opisanych koszykarze. Podobne wartości mocy maksymalnej na kilogram masy ciała uzyskali w swoich badaniach Gorwa i wsp. [2017], którzy uzyskali maksymalną moc względną odpowiednio dla badanych tancerek (23,8 W/kg) i studentek AWF Poznań (24,34 W/kg).

Na zbliżonym poziomie natomiast zanotowano wartości impulsu siły odbicia (2,7 Ns/kg) dla koszykarzy oraz (2,2 Ns/kg) dla koszykarek w porównaniu do niniejszych badań 2,99 Ns/kg dla mężczyzn i 2,48 Ns/kg dla kobiet.

W porównaniu do innych zmiennych mechanicznych wyskoku stwierdzono zbliżone wartości wysokości uniesienia środka ciężkości ciała u koszykarzy i badanych w tej pracy. Torres-Unda i wsp. [2016] przedstawił wysokość skoku pionowego wynoszącą 43,9 cm, Jakovljevic i wsp. [2016] 43,2 cm, a Drinkwater i wsp. [2008] 45,6 cm, podczas gdy w niniejszym badaniu uzyskano dla mężczyzn 44 cm

Ponadto Chukhlantseva i wsp. [2021] badając młode koszykarki stwierdzili średnią wysokość skoku pionowego wynoszącą 39,7 cm dla sportmerek, co jest znacznie wyższe od wartości uzyskanych w tym badaniu 30 cm. Różnice te można przypisać specyficznym treningom uprawianej konkurencji sportowej.

W tym badaniu przedstawiono analizę wskaźników względnych znormalizowanych przez masę ciała, ujawniając liczne różnice zależne od płci. Już cechy antropometryczne znacznie różnicują badane grupy kobiet i mężczyzn. Zaobserwowano kilka kluczowych rozbieżności we wskaźnikach mechanicznych, zależnych od BM, które służą głównie interpretacji warunków koniecznych do uzyskania najważniejszego wskaźnika, jakim jest wysokość skoku. Rzeczywiście, wysokość skoku była istotnie większa u mężczyzn niż kobiet. Różnicy tej należy upatrywać nie tylko ze względu na większą siłę mężczyzn, ale także różnicę wysokości ciała, która średnio wyniosła 13 cm, co mogło wpływać na większą drogę rozpędzania masy ciała, co w efekcie skutkowało większą prędkością odbicia, a więc i wysokością skoku.

W badaniach własnych ograniczono się do analizy zmiennych mechanicznych podczas wyskoku. Ale są także wyniki rozszerzonych badań prowadzonych przez innych autorów, które łączą wyniki z wyskoku z danymi innych metod badawczych. Takie wyniki badań przedstawia Gorwa i wsp. [2017], którzy w swoich badaniach zajęli się określeniem związków pomiędzy zmiennymi wyskoku pionowego, a wartościami momentów sił mięśniowych kończyn dolnych wśród tancerzy zawodowych specjalizujących się w dwóch odmiennych stylach. Badania te zostały przeprowadzone za pomocą platformy piezoelektrycznej KISTLER i pomiaru momentów sił mięśniowych w warunkach statyki. Każdy z badanych wykonywał maksymalny wyskok pionowy w górę, z odbicia obunóż z zamachem kończynami górnymi (CMJ) a następnie, wyskok pionowy z półprzysiadu (SJ). Przeprowadzony

eksperyment wykazał, że parametry mechaniczne wyskoku z zamachem i wyskoku z półprzysiadem oraz wartości względne, wybranych momentów siły mięśniowej kończyn dolnych mierzonych w warunkach statyki, są ze sobą powiązane. Podobne wnioski ze swoich badań wyprowadził Ravn i wsp. [1999] porównując momenty siły mięśniowej podczas dwóch rodzajów wyskoku (CMJ i SJ) w grupie siatkarzy i zawodników uprawiających balet. Również badanie przeprowadzone przez Mazur-Różycką [2017] wykazało, że jedynym czynnikiem istotnie wpływającym na uzyskiwane parametry wysokości wyskoku jest jego rodzaj.

Wyniki uzyskane na platformie dynamometrycznej mogą być przydatne dla trenerów oraz osób zajmujących się kształtowaniem motoryczności, podczas opracowywania indywidualnie dostosowanych programów treningowych ukierunkowanych na optymalizację siły i możliwości rozwijania mocy. Ponadto uzyskane wyniki podkreślają znaczenie uwzględnienia różnic zależnych od płci w procesie identyfikacji talentu i rozwoju zawodników w ramach różnych konkurencji sportowych. Biorąc pod uwagę zaobserwowane różnice w wynikach, można rozważyć wdrożenie odpowiednich programów treningowych ukierunkowanych na optymalizację siły podczas odbicia (faza koncentryczna), co jest celem końcowym w wielu dyscyplinach sportowych. Ponadto regularne przeprowadzanie ocen tego rodzaju, takich jak CMJ, może być korzystne w celu umożliwienia identyfikacji indywidualnych potrzeb sportowców.

Wykorzystanie i analiza zmiennych mechanicznych wyliczanych z przebiegu siły reakcji podczas odbicia w wyskoku pionowym może pomóc w procesie identyfikacji predyspozycji (talent), ponieważ pozwala na lepsze zrozumienie zdolności sportowca do pracy nerwowo-mięśniowej.

Na przykład szczegółowa analiza przebiegu sił reakcji może uwypuklić zdolność sportowca do wykorzystania energii sprężystej podczas skoku, czego efektem jest większa wysokość skoku odzwierciedlająca ogólną moc wyjściową. Ponadto ocena koncentrycznych i ekscentrycznych charakterystyk siły może ujawnić możliwości sportowca do wytwarzania siły i kontroli podczas dynamicznych ruchów. Tak więc włączenie ocen CMJ do protokołów identyfikacji talentu może ułatwić bardziej obiektywny proces oceny i selekcji, zapewniając, że obiecujący sportowcy są rozpoznawani, nawet jeśli ich potencjał nie jest od razu widoczny za pomocą tradycyjnych metod obserwacyjnych (np. na boisku). To podejście oparte na danych może usprawnić rozwój programów treningowych dostosowanych do indywidualnych mocnych i słabych stron, ostatecznie sprzyjając poprawie wyników sportowych i pomyślnemu długoterminowemu rozwojowi sportowca.

Chociaż badanie to oferuje głębszy wgląd do zmiennych mechanicznych ruchu podczas wyskoku pionowego w rozróżnieniu na kobiety i mężczyzn, nie jest pozbawione ograniczeń. Badanie obejmowało stosunkowo znaczną próbkę, jednak byli to studenci wychowania fizycznego, a więc osoby o znacznie wyższej sprawności fizycznej od średniego poziomu populacji. Ponadto zabrakło informacji

o specjalnościach reprezentowanych przez badanych. Należy w dalszej części ewentualnej kontynuacji badań, zastosować podział osób w zależności od specyfiki konkurencji sportowych. Ponadto uczestnicy zostali wybrani z określonej grupy z podobnej lokalizacji geograficznej, co może ograniczać możliwość uogólnienia wyników na inne grupy. Potrzebny jest długofalowy monitoring, aby zrozumieć, w jaki sposób obserwowane różnice w sprawności specyficzne dla płci są uwarunkowane rodzajem treningu.

## 5. Wnioski

Wyniki niniejszego badania ujawniły istotne różnice zależne od płci we wszystkich przedstawionych zmiennych mechanicznych wyskoku w obu analizaownych fazach wyskoku: zamachu (ekscentrycznej) i odbicia (koncentryczna) CMJ, wskazując na wyższy potencjał wśród płci męskiej. Stwierdzono, iż cechy antropometryczne także były zróżnicowane u obu płci. Mężczyźni wykazali lepsze możliwości do rozwijania siły i mocy niż kobiety. Ponadto uzyskali oni wyższe bezwzględne i względne wartości siły szczytowej, mocy maksymalnej i mocy średniej, impulsu siły i prędkości niż ich odpowiedniczki płci żeńskiej. Ponadto mężczyźni rozwineli wyższe wysokości skoku, co w wielu konkurencjach sportowych jest celem najważniejszym. Wyniki dostarczają wartości dla tej konkretnej grupy badanych i mogą być wykorzystywane przez trenerów i praktyków w celu opracowywania indywidualnie dostosowanych programów treningowych.

## Piśmiennictwo

- [1] Anicic A., Janicijevic D., Knezevic O.M., Garcia-Ramos A., Petrovic M.R., Cabarkapa, D. Mirkov D.M. *Assessment of Countermovement Jump: What Should We Report?* Life. 2023, 13:190.
- [2] Bartosiewicz G., Elias J., Viitasalo J.T., Wit A. *Pomiary mocy kończyn dolnych i tułowia oraz wysokość uniesienia środka masy ciała podczas wyskoku pionowego*. W: Wit A. [red.] *Biomechaniczna ocena układu ruchu sportowca*. Instytut Sportu, Warszawa. 1992:75-92.
- [3] Ben Abdelkrim N., Castagna C., Jabri I., Battikh T., Fazaa S., Jalila A., Atli E.L. *Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness*. J. Strength. Cond. Res. 2010, 24:2330-2342.
- [4] Bobbert M.F. *Drop Jumping as a Training Method for Jumping Ability*. Sports Medicine. 1990, 9:7-22.
- [5] Bober T. *Efektywność techniki ruchu pod kątem dzia łania mięśni w cyklu rozciągnięcie-skurcz*. R. Będziński [red.] *Biomechanika '94: XII Szkoła Biomechaniki, Wrocław–Szklarska Poręba, 20-23 października 1994 r.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław. 1994:50-60.
- [6] Cabarkapa D., Cabarkapa D.V., Aleksic J., Philipp N.M., Scott A.A., Johnson Q.R., Fr A.C. *Differences in countermovement jump force-time metrics between*

- starting and non-starting professional male basketball players*. Front. Sports Act Living. 2023, 5:1-6.
- [7] Cabarkapa D., Philipp N., Cabarkapa D.V., Eserhaut D., Fry A. *Porównanie metryk siły i czasu między skokiem w przeciwnym kierunku z zamachem ramienia i bez zamachu ramienia u profesjonalnych koszykarzy*. Int. J. Strength Cond. 2023, 3:1-7.
- [8] Chukhlantseva N., Cherednichenko I., Bruhno E. *Comparative characteristics and assessment of the relations of anthropometric indicators and motor abilities of girls' basketball players 12-14 years old*. Cent. Eur. J. Sport Sci. Med. 2021, 33:61-71.
- [9] Dadelo S., Turskis Z., Zavadskas E.K., Dadeliene R. *Multi-criteria assessment and ranking system of sport team formation based on objective-measured values of criteria set*. Expert. Syst. Appl. 2014, 41:6106-6113.
- [10] Dal Pupo J., Kons R.L., Gheller R.G., Costa F.E., Vecchia L.D., Detanico D. *Neuromuscular impairment after high-intensity running and vertical jump exercise protocols*. Isokinetics and Exercise Science. 2021, 29/4:361-367.
- [11] Drinkwater E.J., Pyne D.B., Mckenna M.J. *Design and Interpretation of Anthropometric and Fitness Testing of Basketball Players*. Sports. Med. 2008, 3:565-578.
- [12] Dziewiecki K. *Zależność między kinematycznymi i dynamicznymi parametrami uderzeń w sportach walki*. AWF Poznań. 2002. Rozprawa doktorska.
- [13] Ford K.R., Myer G.D., Toms H.E., Hewett T.E. *Gender differences in the kinematics of unanticipated cutting in young athletes*. Med. Sci. Sports. Exerc. 2005, 37:124-129.
- [14] Gorwa J., Kabaciński J., Murawa M., Mączyński J., Dworak L. *Parametry wyskoku pionowego a wartości momentów siły mięśniowej kończyn dolnych tancerzy zawodowych*. Aktualne Problemy Biomechaniki. 2017:13.
- [15] Gutierrez-Vargas R., Morillo-Baro J.P., Reigal R.E., Hernández-Mendo A. *Análisis del ataque posicional de balonmano playa masculino y femenino mediante coordenadas polares*. Rev. Int. Cienc. Deporte. 2022, 11:226-244.
- [16] Heishman A., Daub B., Miller R., Brown B., Freitas, E., Bemben M. *Countermovement jump inter-limb asymmetries in collegiate basketball players*. Sports 2019, 7:103.
- [17] Jakovljevic S., Macura M., RadivojmM., Jankovic N., Pajic Z., Erculj F. *Biological Maturity Status and Motor Performance in Fourteen-Year-old Basketball Players*. Int. J. Morphol. 2016, 34:637-642.
- [18] Potteiger J.A., Lockwood R.H., Haub M.D., Dolezal B.A., Almuzaini K.S., Schroeder J.M., Zebas C.J. *Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training*. Journal of Strength and Conditioning Research. 1999, 13(3):275-279
- [19] Komi P. *Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch shortening cycle on force and speed*. Exercise

- Sport Science Review. R.L. Terjung, ed. Lexington, MA: Callamore-Health. 1998:81-122.
- [20] Márquez G., Alegre L.M., Jaén D., Martín-Casado L., Aguado X. *Sex differences in kinetic and neuromuscular control during jumping and landing*. J. Electromyogr. Kinesiol. 2013, 23:747-758.
- [21] Mazur-Różycka J. *Comparison of biomechanical parameters obtained during various types of vertical jumps in volleyball and basketball players*. Journal of Education, Health and Sport. 2017, 7(7):304-310.
- [22] Mihajlovic M., Cabarkapa D., Cabarkapa D.V., Philipp N.M., Fry A.C. *Recovery methods in basketball: A systematic review*. Sports. 2023, 11:230.
- [23] Petrovic M., Cabarkapa D., Aleksic J., Cabarkapa D.V., Ramos J., Hafsteinsson T., Gisladottir T. *Sex-Specific Differences in Vertical Jump Force–Time Metrics in Youth Basketball Players*. Biomechanics. 2024, 4(4):805-811; DOI: 10.3390/biomechanics4040059
- [24] Philipp N.M., Cabarkapa D., Nijem R.M. Fry A.C. *Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball player: A season-long analyses*. PLoS ONE. 2023, 18:e0286581.
- [25] Pic Aguilar M. *Different motor patterns in basketball depending on gender?* Cuad. Psicol. Deporte. 2017, 17:149-156.
- [26] Rauch J., Leidersdorf E., Reeves T., Borkan L., Elliott M., Ugrinowitsch C. *Different movement strategies in the countermovement jump amongst a large cohort of NBA players*. Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020, 17:63-94.
- [27] Ravn S., Voigt M., Simonsen E.B., Alkjaer T., Bojsen-Møller F., Klausen K. *Choice of jumping strategy in two standard jumps, squat and countermovement jump effect of training background or inherited preference?* Scand J Med Sci Sports. 1999 Aug;9(4):201-8. DOI: 10.1111/j.1600-0838.1999
- [28] Rice P.E., Goodman C.L., Capps C.R., Triplett N.T., Erickson T.M., McBride J.M. *Force– and power–time curve comparison during jumping between strength-matched male and female basketball players*. Eur. J. Sport. Sci. 2017, 17:286-293.
- [29] Samozino P., Morin J.B., Hintzy F., Belli A. *Jumping ability: A theoretical integrative approach*. Journal of Theoretical Biology. 2010, 264(1):11-18.
- [30] Scanlan A.T., Dascombe B.J., Kidcaff A.P., Peucker J.L., Dalbo V.J. *Gender-Specific Activity Demands Experienced During Semiprofessional Basketball Game Play*. Int. J. Sports. Physiol. Perform. 2015, 10:618-625.
- [31] Schade F., Arampatzis A., Brüggemann G.P., Komi P.V. *Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic Games*. J. Sports. Sci. 2004, 22:835-842.
- [32] Struzik A., Zawadzki J. *Leg stiffness during phases of countermovement and take-off in vertical jump*. Acta of Bioengineering and Biomechanics. 2013, 15(2).

- [34] Torres-Unda J., Zarrazquin I., Gravina L., Zubero J., Seco J., Gil S.M., Gil J., Irazusta J. *Basketball performances is related to maturity and relative age in adolescent players*. J. Strength Cond. Res. 2016, 30:1325-1332.

## **Stabilność i powtarzalność techniki ruchu w zależności od długości rozbiegu (skróconego – normalnego) w skoku o tyczce**

### **Stability and repeatability of movement technique depending on the length of the run-up (shortened – normal) during pole vaulting**

**J. MASTALERZ**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Sportów Indywidualnych  
e-mail: janusz.mastalerz@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: lekkoatletyka, zmienność, skok o tyczce*

#### **1. Wstęp**

Stabilność i powtarzalność techniki ruchu w skoku o tyczce są kluczowymi elementami, które decydują o sukcesie zawodnika. Skok o tyczce to złożona dyscyplina wymagająca doskonałej koordynacji, precyzyjnego operowania tyczką oraz optymalnego połączenia siły, szybkości i techniki [Enoki i wsp. 2023]. Jednym z istotnych czynników wpływających na efektywność tej techniki jest długość rozbiegu, który może być krótki lub normalny, w zależności od indywidualnych preferencji zawodnika oraz jego umiejętności. Długość rozbiegu w skoku o tyczce ma istotny wpływ na stabilność i powtarzalność techniki. Krótszy rozbieg, mimo że zmniejsza prędkość wejścia w fazę skoku, zmusza zawodnika do większej precyzji w wykorzystywaniu siły i techniki. W takich warunkach kluczowe jest odpowiednie wyważenie siły i dynamiki skoku, ponieważ zawodnik ma mniej czasu na dostosowanie swojej pozycji w trakcie wybicia. Zgodnie z badaniami Linthorne'a i Weetmana [2012], krótszy rozbieg zmniejsza prędkość, co wymaga większego zaangażowania w precyzyjne ustawienie ciała, odpowiedni kąt wybicia i kontrolę nad tyczką. W przypadku rozbiegu normalnego, który umożliwia większą prędkość, zawodnik ma więcej czasu na realizację pełnej techniki skoku. Wyższa prędkość pozwala uzyskać większą siłę wybicia, co umożliwia lepsze wykorzystanie siły odśrodkowej przy podnoszeniu ciała nad poprzeczką. Jednak zwiększona prędkość wiąże się z wyzwaniami związanymi z kontrolą ruchu, co wymaga doskonałej techniki. Zgodnie z badaniami Frere i wsp. [2010], krótszy rozbieg może zmniejszać możliwości adaptacyjne, co utrudnia stabilność techniki w dłuższej perspektywie. Z kolei rozbieg normalny daje większą przestrzeń do wprowadzenia korekt w trakcie skoku, co może poprawić stabilność wykonania techniki w dłuższej perspektywie, ale jednocześnie stwarza większe ryzyko błędów w przypadku zawodników, którzy nie opanowali jeszcze w pełni techniki startowej. Zmienność długości rozbiegu ma także istotny wpływ na powtarzalność techniki. Powtarzalność jest niezbędna, aby

zawodnik osiągał spójne wyniki podczas rywalizacji. Zdolność do powtarzania tej samej sekwencji ruchów w kolejnych próbach zależy od precyzyjnego kontrolowania rozbiegu, a także od zachowania ciągłości i harmonii w kolejnych fazach skoku. Zawodnicy stosujący krótszy rozbieg często napotykają trudności w adaptacji do zmiennej siły odbicia, co może wpływać na niestabilność skoku. Natomiast rozbieg normalny, choć daje większe możliwości, może prowadzić do błędów w przypadku zawodników, którzy nie opanowali jeszcze wszystkich elementów techniki startowej. Badania dotyczące techniki skoku o tyczce wskazują na zależność między długością rozbiegu, a efektywnością skoku. Zgodnie z badaniami Cassirame i wsp. [2018], zmiana długości rozbiegu wpływa na kinetykę i kinematykę skoku, w tym na przyspieszenie zawodnika, wysokość odbicia oraz stabilność ruchu. Linthorne'a i Weetman [2012] podkreślają, że odpowiednia analiza długości rozbiegu i dostosowanie go do poziomu umiejętności zawodnika są kluczowe dla osiągnięcia optymalnych wyników.

Zrozumienie roli długości rozbiegu w stabilności i powtarzalności techniki jest istotne zarówno w kontekście treningów, jak i przygotowań do zawodów. Dopasowanie odpowiedniego rozbiegu do indywidualnych umiejętności zawodnika pozwala na eliminowanie zmienności w wykonaniu skoku, co przekłada się na osiągnięcie stabilnych wyników.

## 2. Materiał i metody badań

### Materiał badany

Badaniami objęto sześciu lekkoatletów specjalizujących się w skoku o tyczce. Grupę stanowiło dwóch mężczyzn w wieku 22 lat o średniej wysokości  $182 \pm 4$  cm i masie ciała  $78 \pm 3$  kg oraz cztery kobiety w wieku 21 lat o średniej wysokości  $168 \pm 2$  cm i masie ciała  $64 \pm 1$  kg.

### Metody badań

Analizę stabilności i powtarzalności techniki ruchu w zależności od długości rozbiegu (skrócony – normalny) w skoku o tyczce podzielono na dwie części:

Do rejestracji ruchu w warunkach startowych wykorzystano dwie kamery GR-DVL 9800 o częstotliwości 60 Hz i migawce 240 (1/240 s), ustawione jedna prostopadle do kierunku rozbiegu, a druga równolegle. Zapisu dokonano w systemie NTSC. Obiektywy kamer skierowane były na badanego, obejmując: dwa ostatnie kroki rozbiegu, odbicie, lot i lądowanie. Wielkości kinematyczne ruchu uzyskano dzięki przetworzeniu obrazów uzyskanych drogą cyfrową w programie do analizy ruchu APAS (Ariel Performance Analysis System). W miejscu odbicia ustawiano przestrzenny układ kalibracyjny składający się z rurek o wymiarach 2 m/1,5 m/1,5 m (wysokość, szerokość, głębokość). Filmy zarejestrowane przez obydwie kamery poddano cyfrowej transformacji liniowej i uzyskano trójwymiarowy obraz ruchu zawodnika.

Do rejestracji ruchu w warunkach treningowych wykorzystano system Xsens. System przechwytywania ruchu MVN składa się z 17 czujników MTx i 2 Xbus Masters. MTx jest inercjalną i magnetyczną jednostką pomiarową zawierającą trójwymiarowe żyroskopy, akcelerometry i magnetometry (385 x 321 mm, 30 g). Moduły czujnika połączone są z Xbus Masters, synchronizując wszystkie czujniki i zapewniając komunikację z PC lub laptopem. Dla wygodnego użycia czujniki i kable umieszczone są w dopasowanym kombinezonie. Masa całkowita systemu (w tym 8 baterii AA) wynosi 1,9 kg. Czujniki rozmieszczone są na stopach, goleniach, udach, miednicy, ramionach, mostku, głowie, przedramionach i rękach.

Dla obu modeli ruchu wyznaczono wskaźniki charakteryzujące dwie fazy założenia tyczki tj. fazę postawienia nogi odbijającej oraz fazę oderwania nogi odbijającej. Dla tych faz wyliczono następujące wskaźniki:  $\alpha(\text{kol})$  – kąt w stawie kolanowym nogi odbijającej,  $V_x$  – prędkość pozioma środka ciężkości,  $V_y$  – prędkość pionowa środka ciężkości,  $V_{3d}$  – prędkość wypadkowa środka ciężkości,  $Z$  – odległość stopy odbijającej względem położenia chwytu na podłożu i  $D$  – wysokość założenia tyczki.

### 3. Wyniki

W tabeli 1 przedstawiono wskaźniki kinematyczne charakteryzujące sposób wykonania ostatniego kroku w skoku o tyczce, zarejestrowane dla czterech skoków wykonanych podczas zawodów, natomiast w tabeli 2 znajdują się dane z treningów. Badaniami objęto grupę sześciu zawodników: dwóch mężczyzn (C, D) oraz cztery kobiety (A, B, E, F). Skoki treningowe wykonano z typowego skróconego rozbiegu, składającego się z ośmiu kroków. W ostatniej kolumnie obliczono współczynnik zmienności (CV%) wyników podstawowych wskaźników techniki odbicia.

Stosunkowo dużą zmiennością charakteryzowały się wartości prędkości  $V_y$  zarówno dla skoków wykonanych podczas treningu (50%) jak i zawodów (49%) oraz wartość położenia uchwytu względem stopu odbijającej ( $Z$ ) zarówno dla skoków wykonanych podczas treningu (68%) jak i zawodów (68%). Drugi ze wskaźników świadczy o powtarzalności rozbiegu, umiejętności oceny odległości i zdolności do kontrolowania prędkości. W przypadku tego parametru wysokie wartości zmienności zaobserwowano szczególnie w fazie oderwania nogi odbijającej. Dość niepokojącym wynikiem jest jednak wysoka zmienność  $Z$  w fazie postawienia nogi odbijającej dla skoków wykonanych podczas treningu (18%) jak i zawodów (18%). Średnia zmienność wszystkich wskaźników podczas treningów była od 2 do 4% wyższa niż podczas zawodów.

**Tab. 1** Wskaźniki charakteryzujące sposób wykonania ostatniego kroku (założenia tyczki) w skoku o tyczce dla czterech skoków wykonanych podczas zawodów (1, 2, 3, 4) i sześciu zawodników (A, B, C, D, E, F)

Faza						Faza					
Postawienie kończyny odbijającej						Oderwanie kończyny odbijającej					
Numer skoku						Numer skoku					
	1	2	3	4	CV%		1	2	3	4	CV%
<b><math>\alpha(\text{kol})</math> [deg]</b>						<b><math>\alpha(\text{kol})</math> [deg]</b>					
A	163,2	166,8	163,7	164,0	1	A	171,1	168,6	169,2	164,2	2
B	170,3	166,8	163,7	164,0	2	B	171,1	163,6	160,2	161,2	3
C	167,4	162,2	165,2	166,3	1	C	167,0	167,3	170,2	169,2	1
D	167,4	162,2	165,2	166,3	1	D	167,0	167,3	170,2	169,2	1
E	164,1	164,0	163,3	160,4	1	E	170,4	173,2	171,6	167,1	2
F	160,8	160,2	160,2	160,1	0	F	173,7	174,8	176,3	176,1	1
<b>Vx [m/s]</b>						<b>Vx [m/s]</b>					
A	4,27	4,20	4,24	4,22	1	A	3,64	3,55	3,36	3,56	3
B	4,26	4,22	4,14	4,02	3	B	3,60	3,51	3,32	3,51	3
C	8,71	8,53	8,65	8,66	1	C	6,30	6,51	6,60	6,61	2
D	7,72	7,65	7,97	8,11	3	D	6,31	6,12	6,15	6,15	1
E	4,33	4,17	4,43	4,15	3	E	3,08	3,13	3,24	3,45	5
F	4,31	4,28	4,56	4,55	3	F	3,51	3,82	3,82	3,79	4
<b>Vy [m/s]</b>						<b>Vy [m/s]</b>					
A	0,34	0,49	0,20	0,39	34	A	2,33	2,08	2,28	2,35	5
B	0,24	0,19	0,21	0,29	19	B	2,21	2,11	2,12	2,22	3
C	0,70	0,81	0,75	0,80	7	C	2,73	2,16	2,54	2,65	10
D	0,11	0,11	0,55	0,80	87	D	2,56	2,15	2,35	2,62	9
E	0,07	0,46	0,07	0,04	125	E	2,22	2,28	2,39	2,46	5
F	0,26	0,46	0,46	0,45	24	F	3,57	2,65	2,91	2,89	13
<b>V3d [m/s]</b>						<b>V3d [m/s]</b>					
A	4,28	4,23	4,24	4,24	1	A	4,32	4,11	4,06	4,27	3
B	4,27	4,22	4,15	4,03	2	B	4,22	4,10	3,94	4,15	3
C	8,74	8,57	8,68	8,70	1	C	6,87	6,86	7,07	7,12	2
D	7,72	7,65	7,99	8,15	3	D	6,81	6,49	6,58	6,68	2
E	4,33	4,20	4,43	4,15	3	E	3,80	3,87	4,03	4,24	5
F	4,32	4,30	4,58	4,57	3	F	5,01	4,65	4,80	4,77	3
<b>Z m</b>						<b>Z m</b>					
A	0,25	0,29	0,26	0,28	7	A	0,11	0,04	0,04	0,03	175
B	0,24	0,25	0,22	0,29	12	B	0,12	0,11	0,00	0,11	67
C	0,93	0,79	0,81	0,88	8	C	0,09	0,12	0,11	0,10	12

Faza						Faza					
Postawienie kończyny odbijającej						Oderwanie kończyny odbijającej					
Numer skoku						Numer skoku					
	1	2	3	4	CV%		1	2	3	4	CV%
D	0,45	0,31	0,81	0,14	67	D	0,04	0,10	0,15	0,12	45
E	0,38	0,39	0,32	0,37	9	E	0,20	0,12	0,03	0,11	60
F	0,25	0,27	0,27	0,26	4	F	0,05	0,10	0,19	0,15	50
<b>D [m]</b>						<b>D [m]</b>					
A	2,02	2,03	2,04	2,02	0	A	2,34	2,36	2,34	2,32	1
B	2,01	2,07	2,03	2,00	2	B	2,17	2,15	2,11	2,21	2
C	2,09	2,15	2,20	2,19	2	C	2,30	2,29	2,31	2,29	0
D	2,11	2,14	2,23	2,19	2	D	2,28	2,31	2,30	2,28	1
E	2,10	2,09	2,11	2,05	1	E	2,37	2,43	2,52	2,48	3
F	2,14	2,20	2,13	2,15	1	F	2,46	2,46	2,48	2,45	1

**Tab. 2** Wskaźniki charakteryzujące sposób wykonania ostatniego kroku (założenia tyczki) w skoku o tyczce dla czterech skoków wykonanych podczas treningu (1, 2, 3, 4) i sześciu zawodników (A, B, C, D, E, F)

Faza						Faza					
Postawienie kończyny odbijającej						Oderwanie kończyny odbijającej					
Numer skoku						Numer skoku					
	1	2	3	4	CV%		1	2	3	4	CV%
<b><math>\alpha</math>(kol) [deg]</b>						<b><math>\alpha</math>(kol) [deg]</b>					
A	176,2	178,4	178,4	177,1	1	A	172,8	178,8	177,7	173,3	2
B	180,5	175,1	176,8	174,7	1	B	179,7	173,5	168,3	170,1	3
C	175,8	167,1	176,8	174,6	3	C	172,1	177,4	177,0	177,7	2
D	174,1	168,7	173,5	173,8	1	D	175,4	177,4	177,0	177,7	1
E	169,1	167,3	173,1	166,8	2	E	175,6	176,7	178,6	172,1	2
F	161,6	161,8	161,8	161,7	0	F	174,6	178,4	179,9	179,6	1
<b>V<sub>x</sub> [m/s]</b>						<b>V<sub>x</sub> [m/s]</b>					
A	2,84	2,41	1,88	2,21	17	A	3,20	2,34	1,95	2,21	22
B	2,77	2,39	2,16	2,33	11	B	2,70	2,74	2,12	2,49	11
C	4,28	5,01	4,36	4,73	7	C	4,28	4,23	4,29	4,30	1
D	3,66	4,04	3,44	3,75	7	D	3,66	3,43	3,38	3,41	4
E	2,40	2,44	2,17	2,50	6	E	1,72	2,07	2,11	2,26	11
F	2,32	2,06	2,52	2,27	8	F	2,32	2,41	2,52	2,44	4
<b>V<sub>y</sub> [m/s]</b>						<b>V<sub>y</sub> [m/s]</b>					
A	0,30	0,32	0,12	0,24	38	A	1,60	0,91	0,77	0,90	36
B	0,18	0,15	0,13	0,21	19	B	1,26	1,27	0,87	1,11	17

Faza						Faza					
Postawienie kończyny odbijającej						Oderwanie kończyny odbijającej					
Numer skoku						Numer skoku					
	1	2	3	4	CV%		1	2	3	4	CV%
C	0,48	0,53	0,49	0,52	5	C	1,15	0,87	1,09	1,10	12
D	0,06	0,06	0,30	0,44	86	D	0,89	0,76	0,71	0,86	10
E	0,04	0,30	0,05	0,03	129	E	0,67	0,99	0,98	1,04	18
F	0,17	0,29	0,30	0,29	23	F	1,56	1,05	1,27	1,20	17
<b>V3d [m/s]</b>						<b>V3d [m/s]</b>					
A	2,85	2,44	1,89	2,22	17	A	3,58	2,51	2,09	2,38	25
B	2,78	2,39	2,16	2,34	11	B	2,98	3,02	2,30	2,73	12
C	4,31	5,04	4,38	4,75	7	C	4,44	4,32	4,43	4,44	1
D	3,66	4,04	3,46	3,78	7	D	3,77	3,51	3,46	3,52	4
E	2,40	2,46	2,17	2,50	6	E	1,85	2,29	2,32	2,49	12
F	2,32	2,08	2,54	2,29	8	F	2,79	2,63	2,82	2,72	3
<b>Z m</b>						<b>Z m</b>					
A	0,25	0,31	0,27	0,30	9	A	0,11	0,04	0,04	0,03	175
B	0,25	0,27	0,23	0,31	12	B	0,13	0,12	0,00	0,12	67
C	0,96	0,84	0,84	0,92	7	C	0,09	0,13	0,11	0,11	12
D	0,47	0,33	0,84	0,15	66	D	0,04	0,10	0,16	0,13	45
E	0,39	0,40	0,33	0,38	8	E	0,21	0,12	0,03	0,11	60
F	0,25	0,28	0,28	0,27	4	F	0,05	0,10	0,19	0,15	50
<b>D [m]</b>						<b>D [m]</b>					
A	2,02	2,12	2,07	2,08	2	A	1,92	2,10	2,01	2,04	4
B	2,01	2,15	2,06	2,05	3	B	1,93	2,11	1,97	1,99	4
C	2,06	2,18	2,23	2,22	4	C	1,90	2,07	2,16	2,13	6
D	2,14	2,17	2,26	2,22	2	D	2,07	2,02	2,17	2,10	3
E	2,04	2,10	2,13	2,07	2	E	1,94	1,99	2,03	1,96	2
F	2,06	2,09	2,02	2,04	1	F	1,96	1,94	1,88	1,90	2

#### 4. Dyskusja

Stabilność i powtarzalność techniki w skoku o tyczce, w zależności od długości rozbiegu, są kluczowe dla sukcesu zawodników w tej wymagającej dyscyplinie. Badania wykazały, że zarówno krótszy, jak i dłuższy rozbieg mają swoje unikalne zalety i wyzwania, które wpływają na technikę ruchu oraz wynik sportowy. W przypadku skróconego rozbiegu zawodnik ma ograniczoną przestrzeń do nabrania prędkości, co wymusza na nim większą precyzję w operowaniu siłą i techniką. Krótszy rozbieg zmniejsza prędkość wejścia w fazę skoku, co wymaga od zawodnika lepszego wyważenia i kontroli ciała. Zgodnie z badaniami Cassirame i wsp. [2016] zmniejszona prędkość w krótszym rozbiegu zmusza zawodnika do większego

zaangażowania w precyzyjne ustawienie ciała oraz odpowiedni kąt wybicia. W takich warunkach stabilność techniki jest trudniejsza do utrzymania, zwłaszcza gdy zawodnik musi szybko dostosować swoją postawę, by zrealizować pełną sekwencję ruchów. Zauważa się również, że krótszy rozbieg może prowadzić do większej zmienności w wynikach, szczególnie u mniej doświadczonych zawodników, co wynika z trudności w ocenie odległości i kontroli prędkości.

Związek między prędkością poziomą a wydajnością skoku był przedmiotem wielu badań w celu symulacji lub przewidywania ostatecznej wydajności. Współczynniki korelacji między prędkościami biegu i wysokością poprzeczki były istotne dla mężczyzn ( $r = 0,69$ ) [Adamczewski i Perl 1997], jak i dla kobiet ( $r = 0,77$ ) [McGunnis, 2004]. Tak więc analizy regresji mogą służyć jako standard do przewidywania przyszłych wyników, ale mogą również wskazywać na poprawę techniczną na przestrzeni lat, podczas gdy prędkości podejścia pozostały prawie takie same, skoczkowie i skoczkinie zdołali poprawić ostateczną wydajność [Adamczewski i Perl 1997; McGunnis 2004]. U elitarnych skoczków o tyczce zaobserwowano spadek prędkości poziomej o 0,8 do 1,2 m/s w porównaniu z „swobodnym” rozbiegiem [Gros i wsp. 1994]. Różnica ta stanowiła od 7,5% do 11% dwóch prędkości poziomych (odpowiednio z tyczkami i bez nich). Jednak inne badania wykazały, że strata ta odpowiadała 0,5 m/s, czyli różnicy 4,5% między dwoma warunkami rozbiegu [Linthorne 2000; Linthorne 2016]. Ponadto ograniczony ruch ramion powoduje utratę prędkości poziomej poprzez zmniejszenie obrotów barków wokół osi podłużnej. To zmniejszenie rotacji ramion wpływa na koordynację nóg i rotację miednicy, co prowadzi do utraty prędkości [Graham-Smith i Lees 2005]. Wyniki uzyskane z badań kinematycznych (np. prędkość odbicia, położenie uchwytu tyczki) wskazują na istotny wpływ długości rozbiegu na zmienność wyników. Zawodnicy, którzy preferują krótszy rozbieg, wykazują większą zmienność w zakresie prędkości oraz położenia uchwytu względem stopy, co wpływa na stabilność i powtarzalność skoku. Powtarzalność techniki, która jest niezbędna do uzyskania spójnych wyników w zawodach, wydaje się być ściśle związana z kontrolą długości rozbiegu oraz umiejętnością precyzyjnego dostosowania techniki skoku do zmieniających się warunków. Krótszy rozbieg pozwala na łatwiejszą kontrolę nad poszczególnymi fazami skoku, szczególnie u początkujących zawodników, co może prowadzić do lepszej powtarzalności techniki w treningu. Natomiast rozbieg normalny, choć daje większą przestrzeń na korekty, wiąże się z większym ryzykiem błędów, szczególnie w przypadku zawodników, którzy nie opanowali jeszcze w pełni wszystkich elementów technicznych skoku o tyczce.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zmiana długości rozbiegu ma istotny wpływ na wyniki sportowe, zarówno w kontekście efektywności techniki, jak i powtarzalności wyników. Największą zmiennością charakteryzowały się wartości prędkości środka ciężkości  $V_y$  zarówno dla skoków wykonanych podczas treningu jak i zawodów oraz wartość położenia uchwytu względem stopy odbijającej ( $Z$ ) zarówno

dla skoków wykonanych podczas treningu jak i zawodów. Zmienność wskaźnika Z świadczy o małej powtarzalności rozbiegu, umiejętności oceny odległości i zdolności do kontrolowania prędkości. W przypadku tego parametru wysokie wartości zmienności zaobserwowano szczególnie w fazie oderwania nogi odbijającej. Dość niepokojącym wynikiem jest jednak wysoka zmienność Z w fazie postawienia nogi odbijającej dla skoków wykonanych podczas treningu (18%) jak i zawodów (18%).

Podsumowując, optymalizacja długości rozbiegu w skoku o tyczce, dostosowana do indywidualnych umiejętności zawodnika, jest kluczowa dla osiągnięcia stabilnych i powtarzalnych wyników. Zrozumienie roli długości rozbiegu w stabilności i powtarzalności techniki ruchu pozwala na lepsze dostosowanie programu treningowego do indywidualnych potrzeb zawodników, co w efekcie może prowadzić do poprawy wyników sportowych w tej złożonej konkurencji. Uzyskane wyniki w niniejszym badaniu potwierdzają wnioski innych autorów, takich jak Graham-Smith i Lees [2005], Linthorne, Guzman i Bridgett [2005] oraz Hay i Nohara [1990], którzy podkreślają znaczący wpływ parametrów kinematycznych na zmienność wyników w skoku o tyczce. Szczególną rolę w tej zmienności odgrywa parametr Z, dotyczący położenia uchwytu w odniesieniu do nogi odbijającej, wykazał dużą zmienność w badanej grupie zawodników, co miało istotny wpływ na ostateczny wynik w skoku. Zmienność tego parametru została skorelowana z poziomem technicznym zawodników, co wskazuje, że precyzyjne kontrolowanie tych elementów jest kluczowe dla osiągnięcia stabilnych wyników w tej konkurencji lekkoatletycznej.

## 5. Wnioski

Zrozumienie roli długości rozbiegu w stabilności i powtarzalności techniki ruchu pozwala na lepsze dostosowanie programu treningowego do indywidualnych potrzeb zawodników, co w efekcie może prowadzić do poprawy wyników sportowych w tej złożonej konkurencji. Zmiana długości rozbiegu ma istotny wpływ na wyniki sportowe, zarówno w kontekście efektywności techniki, jak i powtarzalności wyników. Zawodnicy preferujący krótszy rozbieg mogą osiągnąć lepszą kontrolę nad siłą wybicia i techniką, co ułatwia im uzyskanie stabilnych wyników, zwłaszcza w trudniejszych warunkach.

## Piśmiennictwo

- [1] Enoki S., Nakayama K., Takigawa H., Kuramochi R. *An examination of kinematic parameters related to pole vault performance*. Int J Perform Anal Sport. 2023, 23:186-95. DOI: 10.1080/24748668.2023.2211360
- [2] Linthorne N.P., Weetman A.H.G. *Effects of run-up velocity on performance, kinematics, and energy exchanges in the pole vault*. J Sports Sci Med. 2012, 11:245-54.
- [3] Frère J., L'Hermette M., Slawinski J., Tourny-Chollet C. *Mechanics of pole vaulting: A review*. Sports Biomech. 2010, 9:123-38. DOI: 10.1080/14763141.2010.492430

- 
- [4] Cassirame J., Sanchez H., Morin J.B. *The elevated track in pole vault: An advantage during run-up?* Int J Sports Physiol Perform. 2018, 13:717-23. DOI: 10.1123/ijsp.2016-072
- [5] Adamczewski H., Perlt B. *Run-up velocities of female and male pole vaulting and some technical aspects of women's pole vault.* New Studies in Athletics. 1997, 12:63-76.
- [6] McGinnis P.M. *Evolution of the Relationship Between Performance and Approach Run Velocity in the Women's Pole Vault.* ISBS - Conference Proceedings Archive. 2004, 531-4.
- [7] Gros H., Adamczewski H., Wolf J. *Biomechanical aspect of the Pole Vault - Analysis of the 4th IAAF World Championship.* 1994.
- [8] Linthorne N.P. *Energy loss in the pole vault take-off and the advantage of the flexible pole.* Sports Engineering. 2000, 3:205-18. DOI: 10.1046/j.1460-2687.2000.00058.x
- [9] Linthorne N.P. *Mathematical Model of the Takeoff Phase in the Pole Vault.* J Appl Biomech. 2016, 10:323-34. DOI: 10.1123/jab.10.4.323
- [10] Novacheck T.F. *The biomechanics of running.* Gait Posture. 1998, 7:77-95. DOI: 10.1016/S0966-6362(97)00038-6
- [11] Graham-Smith P., Lees A. *A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off.* J Sports Sci. 2005, 23:891-903. DOI: 10.1080/02640410400022169
- [12] Linthorne N.P., Guzman M.S., Bridgett LA. *Optimum take-off angle in the long jump.* J Sports Sci. 2005, 23:703-12. DOI: 10.1080/02640410400022011
- [13] Hay J.G., Nohara H. *Techniques used by elite long jumpers in preparation for takeoff.* J Biomech. 1990, 23:229-39. DOI: 10.1016/0021-9290(90)90014-T

## **Zakres ruchu w stawach kończyn dolnych i górnych tancerek różnych stylów**

### **Range of motion of the joints of the lower and upper limbs in female dancers of various disciplines**

**T. POLISZCZUK, M. EFIR**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Sportów Indywidualnych  
e-mail: tatiana.poliszczuk@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: taniec nowoczesny, ruchomość stawów, goniometria, asymetria*

#### **1. Wstęp**

Taniec nowoczesny jest dyscypliną bardzo często nieutożsamianą ze sportem. Dyscyplina ta jest dość kontrowersyjnie oceniana z punktu widzenia nomenklatury sportowej. Niejednokrotnie ludzie traktują taniec nie jako sport, lecz kategorię czysto artystyczną. W życiu współczesnych ludzi, taniec stał się jednak formą kultury fizycznej, która jest coraz bardziej popularna szczególnie wśród dzieci i młodzieży. Powstaje coraz więcej szkół tańca i ośrodków, w których zajęcia są regularnie prowadzone. Taniec współczesny łączy w sobie elementy sztuki rozrywkowej i baletu. Technika tańca współczesnego oparta jest na elementach tańca klasycznego bez zachowania jego sztywnych zasad. Technikę tę można nazwać uniwersalną, ponieważ łączy ona w sobie także jazz, modern, elementy hip-hopu. Ta technika taneczna ma ogromne znaczenie edukacyjne. Jako aktywność solowa czy też grupowa pobudza kreatywność dziecka, pobudza pozytywne myślenie, a także przyczynia się do rozwoju osobistego młodego człowieka [Babiarz i Wilczyńska 2021]

Dla dużej części społeczeństwa taniec jest tylko kombinacją kroków i gestów wykonywanych w rytm muzyki. Ponadto taniec łączy w sobie sztukę wyrażania wielu przeżyć i emocji. Wpływa korzystnie na sprawność fizyczną, samopoczucie oraz jest środkiem porozumiewania się. Taniec jest świetną formą aktywności fizycznej, która pozwala rozwijać inwencję twórczą, poprawiać stan psychiczny, a przede wszystkim poprawiać kondycję fizyczną. Zajęcia taneczne umożliwiają dzieciom i młodzieży rozwijać zainteresowania oraz pasje [Alpert 2011].

Ruch ciała, czyli podstawowy element tańca, jest wykonywany w rytmie muzyki lub wyodrębnionych linii dźwiękowych. Taniec poprawia kondycję fizyczną, wytrzymałość oraz elastyczność ciała. Często jest tak, że kończyny dolne pracują w innym tempie niż kończyny górne. Dodatkowo dochodzi praca głowy, której zadaniem jest powtarzanie wybranego schematu ruchu w danym kształcie np. po kwadracie oraz konkretnym tempie. Poprzez skomplikowane sekwencje ruchowe

oraz złożone choreografie, taniec znacznie poprawia koordynację ruchową i ułatwia łączenie ze sobą wyjątkowo zawyłych ruchów charakterystycznych dla tańca nowoczesnego.

Gibkość w sportach techniczno-estetycznych i tańcu jest wiodącą cechą. Definiuje się jako możliwość wykonywania ruchów o dużych zakresach bez odczuwania bólu, bądź jako ruchomość w stawach danych segmentach ciała czy jako cechę człowieka do uzyskania dużej amplitudy w wykonywanych ruchach [Alter 2004].

Czynników warunkujących poziom gibkości jest wiele: ogólne, mięśniowe i stawowe. Silnymi umocnieniami budowy stawów są torebki stawowe, więzadła oraz mięśnie, które ograniczają nadmierną amplitudę ruchów i chronią stawy przed uszkodzeniem. Niestety zbyt duża masa mięśniowa może tworzyć barierę na drodze ruchu i ograniczać wykonywanie niektórych z nich. Może to wzmocnić skłonność do nabywania wszelakich kontuzji [Russell 2013]. Jednak posiadanie optymalnego poziomu gibkości przy dużej masie mięśniowej jest możliwe, dzięki uwzględnieniu ćwiczeń rozciągających w programie treningowym każdego tancerza [Calvo-Merino i wsp. 2005].

Nadmierna rozciągliwość tkanki łącznej, ponad przyjętą normę fizjologiczną, w danej populacji określana jest terminem hipermobilności. Jest to zespół zwiększonej ruchomości stawów. Osoby, u których można zaobserwować zjawisko hipermobilności posiadają bardziej elastyczne więzadła i luźniejsze struktury łącznotkankowe, które odpowiedzialne są za utrzymywanie stawu we właściwym miejscu. Taka przypadłość może być związana z podłożem genetycznym – objaw uwarunkowany poprzez zaburzenie tkanki łącznej (heritable disorders of connective tissue – HDCT). Pomimo, iż najczęściej ujawnia się jako wyizolowana przypadłość, może również wchodzić w skład obszernego zbioru cech i objawów, które są nazywane hipermobilnym zespołem stawowym (HMS). Zjawisko hipermobilności można rozpatrywać zarówno w aspekcie pozytywnym jak i negatywnym. Są dyscypliny sportu, w których duża elastyczność mięśni i stawów jest niezwykle istotna, a wyżej opisana hipermobilność jest postrzegana jako atut. Jedną z takich dyscyplin jest taniec.

Potrzeba tańca towarzyszy człowiekowi już od najmłodszych lat i jest częścią ludzkiego istnienia. Ta forma sztuki charakteryzuje się pięknymi kształtami oraz liniami ciała, które możliwe są do osiągnięcia poprzez wykonywanie ruchów w pełnym zakresie [Graczykowska 2007]. Hipermobilność sprzyja tancerzom i umożliwia prezentowanie złożonych kombinacji, trudnych figur oraz zachwycających choreografii tanecznych. Ruch odgrywa tu rolę komunikacji i służy przekazywaniu treści i emocji w sposób niewerbalny [Kuźmińska 2002]. Maksymalizacja ruchów wielopłaszczyznowych i zróżnicowanych, nie jest możliwa bez osiągnięcia optymalnego poziomu elastyczności i gibkości całego ciała. Dlatego w tej aktywności, osoby u których ujawnia się hipermobilność w stawach, są postrzegane pozytywnie. W prostszy i szybszy sposób opanowują technikę elastycznych póż, skrętów czy wymagających wygięć tułowia co jest niezwykle istotne zwłaszcza w tańcu

jazzowym. Mimo tak wielu zalet, trzeba mieć na uwadze negatywny aspekt, który niesie za sobą zbyt duża amplituda ruchu w poszczególnych stawach. U wielu osób hipermobilność w stawach jest kojarzona jako przyczyna częstego występowania wielu niechcianych i bolesnych kontuzji [Gannon 1999]. W sytuacji, gdzie dany staw musi dynamicznie wykonać ruch ponad przyjętą normę, zwiększa się ryzyko wystąpienia urazu. Skupianie się na stabilizacji, kształtowaniu siły mięśniowej oraz większą kontrolą ruchu jest dobrym zaleceniem dla osób, u których występuje zjawisko hipermobilności. Skorzystanie z wyżej wymienionych wskazówek pozwoli zniwelować ryzyko zwichnięć, skręceń czy nadwyrężeń [Schoene 2007].

Celem szkolenia tancerza jest rozwijanie zarówno prawej jak i lewej strony ciała na jednakowo wysokim poziomie. W treningu tanecznym większość ćwiczeń wykonuje się symetrycznie zarówno w rozgrzewce jak i podczas części właściwej zajęć. W treningu mającym na uwadze techniczną poprawę wykonywanych ruchów charakterystycznych dla wybranego stylu tańca, zwraca się dużą uwagę na walory estetyczne ruchu kończyn górnych i dolnych oraz znakomicie rozwiniętą koordynację ruchową całego ciała.

Pojęcie symetrii i asymetrii jest częstym tematem poruszonym przez wielu wybitnych badaczy ze względu na istotność pełnionej roli w tańcu jak i każdej dyscyplinie sportu. Można wyróżnić trzy rodzaje wykonywania ruchów: symetryczne, asymetryczne i mieszane. Do ruchów symetrycznych zalicza się wszystkie te, które stanowią lustrzane odbicie po obu stronach osi symetrii ciała ćwiczącego. Pozwalają one utrzymać równowagę oraz stabilizują sylwetkę podczas wykonywania trudnych zadań ruchowych. [Starosta 1990]. Wyróżniają się dużą precyzją i harmonią oraz wymagają równomiernej dystrybucji masy i kontroli ciała. W tańcu nowoczesnym jako sporcie zarówno indywidualnym jak i zespołowym, symetria jest niezwykle ważnym i znaczącym elementem. Podkreśla głęboki wyraz artystyczny układów choreograficznych prezentowanych przez złożoną grupę tancerzy. Zadaniem każdego z nich jest wykonanie swojej partii ruchowej w odpowiednim, wcześniej ustalonym tempie utworu muzycznego. Głównym celem wykorzystywania ruchów symetrycznych w tańcu jest stworzenie oryginalnego, zaskakującego i estetycznego efektu widowiska tanecznego, tzw. „show taneczne” [Bąk 2016].

Innym przykładem symetrycznego wykonywania zadań ruchowych jest gimnastyka artystyczna. W tej dyscyplinie sportu większość ćwiczeń wykonuje się symetrycznie zarówno podczas rozgrzewki jak i w momencie doskonalenia elementów technicznych. Elementy układów gimnastycznych wykonywanych z przyborami również nauczane są obiema rękami i nogami, co ma na celu prawidłowy rozwój fizyczny i jednoczesny rozwój zdolności motorycznych po obu stronach ciała. Jak wynika z badań jednostronne uprawianie poszczególnych dyscyplin sportu wywołuje charakterystyczne zmiany m.in. w układzie kostnym pracującej kończyny ćwiczącego.

Asymetria w tańcu może być postrzegana dwojako. Z jednej strony może być oznaką braku czystości i słabej techniki ruchu, jednak z drugiej może eksplorować

indywidualność i oryginalność każdego tancerza. Ruchy asymetryczne można wykorzystywać w różnym celu, w zależności od zamysłu choreografa i od potrzeb danego układu. Kombinacją ruchów symetrycznych i asymetrycznych są ruchy mieszane. Spora ilość zachwycających i spektakularnych widowisk tanecznych zawiera w swoich choreografiach zarówno ruchy symetryczne jak i asymetryczne, co daje ciekawy i interesujący obraz artystycznego show. Przykładem takich ruchów jest praca kończyn górnych w stałym, określonym tempie muzyki, z jednoczesną pracą kończyn dolnych w zupełnie innym rytmie np. na wokal artysty. Takie zadania ruchowe wymagają znakomicie rozwiniętej koordynacji ruchowej całego ciała oraz błyskotliwego słuchu muzycznego. Niekiedy osiągnięcie zamierzonego efektu w danej dyscyplinie sportu lub optymalne wykorzystanie różnych części ciała wymaga skorzystanie z różnego rodzaju wzorców ruchowych.

Niezwykle interesująca jest możliwość przeanalizowania i porównania zdolności gibkościowych z uwzględnieniem lateralizacji funkcjonalnej u tancerek tańca nowoczesnego hip-hop oraz jazz. Są to kluczowe elementy wyrazistości oraz techniki tańca. Takie style tańca jak hip-hop czy jazz charakteryzują się bardziej zindywidualizowanymi wzorcami ruchowymi niż pozostałe style taneczne. Ruchomość w stawach w zależności od uprawianego stylu tańca generuje unikalne cechy stylistyczne oraz możliwości ruchowe.

Głównym celem badań było zdiagnozowanie i porównanie ruchomości w stawach kończyn dominujących i niedominujących oraz określenie różnic i podobieństw badanych parametrów u dziewcząt uprawiających wyłącznie styl tańca hip-hop oraz tancerek uprawiających jednocześnie dwa odmienne style taneczne hip-hop i jazz. Dodatkowym problemem było scharakteryzowanie tendencji zmian ruchomości w stawach w zależności od stażu treningowego i wieku tancerek.

## 2. Materiał i metody

W badaniu wzięło udział 30 tancerek które specjalizują się w stylu hip-hop i wchodzą do grupy turniejowej. Dwanaście dziewcząt uczęszcza dodatkowo na regularne zajęcia też do grupy turniejowej ale specjalizującej się w stylu jazzowym. Badane tancerki w przedziale wiekowym 9-12 lat zostały podzielona na cztery grupy ze względu na wiek i styl tańca (Tab. 1).

**Tab. 1** Charakterystyka badanych grup tancerek

Zmienne	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	Staż treningowy [lata]
Grupa I			
Średnia±SD	28,7±4,5	140,4±3,4	2,4±0,4
CV	15%	2%	19%
Grupa II			
Średnia±SD	34±6,5	141,6±7,4	2,8±0,3
CV	19%	5%	10%

Zmienne	Masa ciała [kg]	Wysokość ciała [cm]	Staż treningowy [lata]
Grupa III			
Średnia±SD	37,5±4,9	143,6±5,5	4,2±0,6
CV	13%	4%	14%
Grupa IV			
Średnia±SD	39,4±4,1	142,6±7,8	4,4±0,5
CV	10%	5%	11%

Do pierwszej grupy (I) badanych należało siedem dziewcząt w wieku 9-10 lat uprawiających wyłącznie taniec hip-hop. W tej grupie zaobserwowano największy współczynnik zmienności w odniesieniu do ich stażu tanecznego (19%). Średnio wynosi on 2,4±0,4 lata. Drugą grupę (II) stanowiło pięć dziewcząt również w przedziale wiekowym 9-10 lat ale trenujących dwa odmienne style taneczne hip-hop i jazz. Dziewczęta w tej grupie mają najbardziej zróżnicowany współczynnik zmienności masy ciała (19%), a ich staż treningowy waha się od 2,5 do 3 lat.

Do grupy trzeciej (III) zaliczono jednaście tancerek w wieku 11-12 lat uprawiających wyłącznie taniec hip-hop. W tej grupie badanych staż taneczny jest znacznie większy niż w poprzednich i wynosi średnio 4,2±0,6 lat. Współczynnik zmienności wysokości ciała stanowi 4% co wskazuje na minimalne zróżnicowanie tego parametru. Czwartą grupę (IV) stanowiło siedem reprezentantek w wieku 11-12 lat tańczących zarówno hip-hop jak i jazz. Najdłużej trenująca dziewczyna tańczy 5 lat, a najmniejszy staż treningowy wynosi 3,5 roku. Współczynnik zmienności masy ciała wynosi 5%, czyli dokładnie tyle samo co w grupie drugiej.

W badaniach zastosowano metodę goniometrii. Zakres ruchu w stawach kończyn górnych i dolnych mierzony był przy użyciu goniometrów mechanicznych BASELINE. Wszystkie zakresy ruchu w stawach były badane czynnie – badany siłą mięśni zginał lub prostował dany staw. Pomiarów dokonano po obu stronach ciała. Pomiar kątów w stawach odbywał się zgodnie z przyjętymi zasadami pomiarów goniometrycznych [Zembaty 1989].

Pomiary zakresu ruchu w stawach kończyn dolnych przeprowadzono w następujący sposób. W stawie biodrowym: zgięcie wykonywano w leżeniu tyłem na ławce, jedna kończyna prosta, druga ugięta w stawie kolanowym przy maksymalnym zgięciu w stawie biodrowym; prostowanie – w leżeniu przodem na ławce. W stawie kolanowym: zgięcie wykonywano w leżeniu przodem na ławce; prostowanie – w leżeniu przodem na ławce, stawy kolanowe na jej granicy, uda przylegają do powierzchni ławki. Wybrano taką pozycję wyjściową do badania ze względu na cechy budowy, a mianowicie występowanie przeprostów u tancerek. Zgięcie grzbietowe czynne stawu skokowego badano w siadzie prostym, natomiast badanie prostowania wykonano w pozycji leżenia przodem na ławce gimnastycznej.

Dla opracowania wyników badań zastosowano metody statystyczne: współczynnik korelacji rang Spearmana, nieparametryczny test U Manna Whitney'a oraz analizę wariancji ANOVA z wykorzystaniem programu Statistica 13.0.

### 3. Wyniki

W dalszej części będą przedstawione średnie wartości pomiarów zakresu zgięcia i wyprost w stawach kończyn górnych i dolnych dominujących i niedominujących u tancerek uprawiających jeden lub dwa odmienne style taneczne: hip-hop oraz jazz z podziałem na grupy wiekowe 9-10 lat oraz 11-12 lat.

**Tab. 2** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej dominującej u tancerek z grupy I w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna górna dominująca (grupa I)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	199,3	107,1	126,4	2,3	81,6	86,7
SD	5,8	8,7	8,4	1,1	5,8	7,3
CV	3%	8%	7%	49%	7%	8%

W I grupie badanych znalazły się dziewczęta uprawiające wyłącznie taniec hip-hop. Najmniejsza wartość wynosząca  $191^\circ$  oraz największa wynosząca  $206^\circ$  została zanotowana w ruchu zgięcia w stawie ramiennym. Współczynnik zmienności wykazał małą zmienność 3%. W tym samym stawie w trakcie ruchu wyprost odnotowano  $97^\circ$  jako wartość najniższą oraz  $117^\circ$  jako wartość najwyższą. W stawie łokciowym podczas ruchu zgięcia największy odnotowany wynik to  $136^\circ$ , a najmniejszy  $113^\circ$ . Podczas wyprost zaobserwowano bardzo dużą wartość współczynnika zmienności (49%), gdzie wyniki sięgają od  $1^\circ$  do  $4^\circ$ . Następnym badaniem stawem był staw nadgarstkowy gdzie największa zaobserwowana wartość w ruchu zgięcia wynosiła  $89^\circ$ , natomiast najmniejsza to  $72^\circ$ . W ruchu wyprost minimalna wartość wynosiła  $79^\circ$ , a największa  $99^\circ$  (Tab. 2).

**Tab. 3** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej niedominującej u tancerek z grupy I w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna górna niedominująca (grupa I)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	188	97,7	118	1,6	75,3	77,4
SD	9,0	11,7	9,6	0,8	5,0	5,6
CV	5%	12%	8%	50%	7%	7%

Przy zgięciu w stawie ramiennym kończyny niedominującej minimalna wartość wynosiła  $178^\circ$ , natomiast największa  $201^\circ$ . Zróżnicowanie wyników w tej grupie odnotowano na poziomie 5%. W ruchu wyprost współczynnik zmienności wykazuje znaczne rozproszenie – 12%. W stawie łokciowym podczas zgięcia można zauważyć umiarkowane rozproszenie wyników – 8%. Wartość minimalna i maksymalna wynoszą odpowiednio  $105^\circ$  oraz  $129^\circ$ .

W stawie nadgarstkowym zarówno w ruchu zgięcia jak i ruchu wyprostu zaobserwowano umiarkowane rozproszenie wyników – 7%. Podczas zgięcia maksymalna wartość wyniosła 81° (Tab. 3).

Badania kończyny dolnej dotyczyły trzech stawów: biodrowego, kolanowego i skokowego. Przy zgięciu w stawie biodrowym kończyny dominującej najwyższa wartość wyniosła 170°. W ruchu wyprostu współczynnik zmienności wykazuje duże rozproszenie wyników równe 15%. W przypadku zgięcia w stawie kolanowym najmniejszy wynik to 137°, a największy to 152° (Tab. 4).

**Tab. 4** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej dominującej u tancerek z grupy I w wieku 9-10 lat

Kończyna dolna dominująca (grupa I)						
Staw	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	167,2	54	149	6,6	90,6	59,8
SD	5,3	5,7	6,7	1,8	3,4	5,2
CV	3%	10%	5%	28%	4%	9%

**Tab. 5** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej niedominującej u tancerek z grupy I w wieku 9-10 lat

Kończyna dolna niedominująca (grupa I)						
Staw	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt °	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	147,6	40,1	139,0	2,9	68,6	47,1
SD	8,1	7,7	7,7	1,3	7,6	7,1
CV	5%	19%	6%	47%	11%	15%

Największą wartością podczas zgięcia w stawie biodrowym kończyny niedominującej uzyskaną przez badane tancerki jest 160°, a najmniejszą 138°. Dużym rozproszeniem wyników charakteryzuje się amplituda ruchu wyprostu w tym stawie (19%). W przypadku zgięcia w stawie kolanowym najmniejszy wynik wynosił 127° natomiast największy był równy 151°. Bardzo duże zróżnicowanie w grupie można dostrzec w przypadku wyprostu w stawie kolanowym (47%). Zakres mobilności stawu skokowego przy zgięciu wynosi 58° natomiast największy – 79°. zaczynały się od 39° do 55° (Tab. 5).

**Tab. 6** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej dominującej u tancerek z grupy II w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa II)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	207,4	118,8	137	4,6	88,8	97,6
SD	7,7	10,1	8,1	1,8	5,4	8,4
CV	4%	8%	6%	39%	6%	9%

W II grupie badanych znalazły się dziewczęta uprawiające 2 style taneczne hip-hop oraz jazz (Tab. 6). Najmniejsza wartość wynosząca  $195^\circ$  oraz największa wynosząca  $215^\circ$  została zanotowana w ruchu zgięcia w stawie ramiennym kończyny dominującej. Współczynnik zmienności wykazał małą zmienność wynoszącą 4%. W tym samym stawie w trakcie ruchu wyprost odnotowano  $104^\circ$  jako wartość najniższą oraz  $129^\circ$  jako wartość najwyższą

W stawie łokciowym podczas ruchu zgięcia średnia wartość wyniosła  $137,0 \pm 8,1^\circ$ . Największy wynik wynosi  $149^\circ$ , a najmniejszy  $128^\circ$ . Podczas wyprost zaobserwowano bardzo dużą wartość współczynnika zmienności (39%), gdzie wyniki sięgają od  $2^\circ$  do  $7^\circ$ . Następnym badaniem stawem był staw nadgarstkowy gdzie największa zaobserwowana wartość w ruchu zgięcia wynosiła  $97^\circ$ , natomiast najmniejsza to  $83^\circ$ . Średni wynik w tym ruchu uzyskany przez badane tancerki oscylował w granicach  $88,8 \pm 5,4^\circ$ .

**Tab. 7** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej niedominującej u tancerek z grupy II w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa II)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	202,0	112,2	127,4	2,6	83,8	92,6
SD	9,7	10,8	10,0	1,5	6,1	10,1
CV	5%	10%	8%	58%	7%	11%

Pierwszym przebadanym stawem kończyny górnej niedominującej w grupie II był staw ramienny. W trakcie ruchu zgięcia tego stawu minimalna wartość wynosiła  $190^\circ$ , natomiast największa  $215^\circ$ . Zróżnicowanie wyników w tej grupie odnotowano na poziomie 5%. W trakcie ruchu wyprost współczynnik zmienności wykazuje znaczne rozproszenie wyników w grupie – 10%. (Tab. 7). W stawie nadgarstkowym w ruchu zgięcia zaobserwowano umiarkowane rozproszenie wyników – 7%. Podczas zgięcia wyniki osiągnięte przez badane tancerki zaczynają się od  $77^\circ$  do  $92^\circ$  a wyprost 79 do  $105^\circ$ . W tej grupie badanej charakterystyczny jest wysoki współczynnik zmienności podczas wyprost stawu łokciowego – 58%. Najmniejsza wartość wynosiła  $1^\circ$  natomiast największa to  $5^\circ$ .

Współczynnik zmienności w stawie biodrowym kończyny dominującej podczas zgięcia wykazał małą różnicę wyników na poziomie 3% a ich średnia wynosi  $167,2 \pm 5,3^\circ$  (Tab. 8). Najniższa wartość jest równa  $161^\circ$  natomiast najwyższa  $175^\circ$ . W ruchu wyprostu współczynnik zmienności wykazuje rozproszenie wyników równe 10%. Najmniejsza wartość wynosząca  $47^\circ$  oraz największa wynosząca  $59^\circ$  została zanotowana w trakcie badania wyprostu w tym stawie. W przypadku zgięcia w stawie kolanowym występuje mała rozbieżność wyników równa 5%. Najmniejszy wynik to  $141^\circ$ , a największy to  $158^\circ$ . Dużą różnicę w wynikach grupy II zaobserwowano podczas wyprostu w stawie kolanowym, CV = 28%. Następnym badanym stawem był staw skokowy gdzie podczas zgięcia najmniejszy wynik zanotowany w tej grupie wynosi  $87^\circ$  a największy  $96^\circ$ , zmienność rezultatów jest niska 4%. Inna sytuacja występuje w trakcie wyprostu w tym samym stawie, gdzie rozproszenie wyników uplasowało się na poziomie 9% co wskazuje na umiarkowaną rozbieżność.

**Tab. 8** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej dominującej u tancerek z grupy II w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa II)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	167,2	54	149	6,6	90,6	59,8
SD	5,3	5,7	6,7	1,8	3,4	5,2
CV	3%	10%	5%	28%	4%	9%

**Tab. 9** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej niedominującej u tancerek z grupy II w wieku 9-10 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa II)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	157,8	46	143	3,8	82,8	50
SD	9,2	6,7	9,4	1,9	5,0	8,2
CV	6%	15%	7%	51%	6%	16%

Najmniejsza wartość wynosząca  $151^\circ$  oraz największa wynosząca  $173^\circ$  została zanotowana w ruchu zgięcia w stawie biodrowym kończyny dolnej niedominującej u tancerek z grupy II. Współczynnik zmienności wykazał umiarkowaną zmienność wynoszącą 6%. W tym samym stawie w trakcie ruchu wyprostu odnotowano  $39^\circ$  jako wartość najniższą oraz  $56^\circ$  jako wartość najwyższą. W przypadku zgięcia w stawie kolanowym najmniejszy wynik wynosił  $133^\circ$  natomiast największy był równy  $158^\circ$ . Zaobserwowano umiarkowaną rozbieżność wyników wynoszącą 7% oraz średnią oszacowaną na  $143 \pm 9,4^\circ$ . Bardzo dużą różnicę można dostrzec w przypadku wyprostu w tym samym stawie. W tej grupie współczynnik zmienności wynoszący

51% wykazał bardzo duże rozproszenie wyników. Badane tancerki uzyskały średnią wynoszącą  $3,8 \pm 1,9^\circ$  gdzie najniższy wynik był równy  $2^\circ$ , a najwyższy  $7^\circ$  (Tab. 9).

W III grupie badanych dziewcząt uprawiających wyłącznie taniec hip-hop najmniejsza wartość wynosząca  $179^\circ$  oraz największa wynosząca  $202^\circ$  została zanotowana w ruchu zgięcia w stawie ramiennym. Współczynnik zmienności wykazał małą zmienność ( $CV = 4\%$ ). W tym samym stawie w trakcie ruchu wyprostu odnotowano  $89^\circ$  jako wartość najniższą oraz  $110^\circ$  jako wartość najwyższą. W stawie łokciowym podczas ruchu zgięcia średnia wartość wyniosła  $120 \pm 7,4^\circ$ . Podczas wyprostu zaobserwowano bardzo dużą wartość współczynnika zmienności ( $45\%$ ), gdzie wyniki sięgają od 1 do  $4^\circ$ . Następnym badanym stawem był staw nadgarstkowy gdzie największa zaobserwowana wartość w ruchu zgięcia wyniosła  $85^\circ$ , natomiast najmniejsza to  $68^\circ$ . W ruchu wyprostu w stawie nadgarstkowym minimalna wartość wyniosła  $76^\circ$ , a największa  $91^\circ$  (Tab. 10).

**Tab. 10** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej dominującej u tancerek grupy III w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa III)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [ $^\circ$ ]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	191,5	99,5	120,0	2,2	75,6	84,5
SD	7,4	6,8	7,4	1,0	5,4	4,9
CV	4%	7%	6%	45%	7%	6%

**Tab. 11** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej niedominującej u tancerek grupy III w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa III)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [ $^\circ$ ]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	185,3	92,6	114,4	1,5	70,3	78,9
SD	7,9	7,6	8,6	0,7	8,1	4,8
CV	4%	8%	8%	47%	11%	6%

W trakcie ruchu zgięcia stawu ramiennego kończyny górnej niedominującej w grupie III minimalna wartość wyniosła  $171^\circ$  natomiast największa  $197^\circ$ . Zróznicowanie wyników odnotowano na poziomie 4%. W trakcie ruchu wyprostu w stawie ramiennym współczynnik zmienności wykazuje umiarkowane rozproszenie wyników w grupie ( $CV = 8\%$ ). W przypadku zgięcia w stawie łokciowym najmniejszy wynik wyniósł  $99^\circ$  natomiast największy był równy  $126^\circ$ . Bardzo dużą różnicę można dostrzec w przypadku wyprostu w tym samym stawie. Następnym badanym stawem był staw nadgarstkowy gdzie największa zaobserwowana wartość w ruchu zgięcia wyniosła  $86^\circ$ , natomiast najmniejsza to  $60^\circ$  (Tab. 11).

**Tab. 12** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej dominującej u tancerek grupy III w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa III)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	149,5	37,9	140,5	0,9	84,5	52,2
SD	10,8	4,9	3,6	0,9	4,6	2,9
CV	7%	13%	3%	104%	5%	5%

U tancerek z grupy III podczas zgięcia w stawie biodrowym kończyny dolnej dominującej wykazano umiarkowaną różnicę wyników na poziomie 7% a ich średnia wynosi  $149,5 \pm 10,8^\circ$ . Najniższa wartość jest równa  $135^\circ$  natomiast najwyższa  $168^\circ$ . W ruchu wyprostowania najmniejsza wartość wynosi  $30^\circ$  oraz największa –  $45^\circ$ . W przypadku zgięcia w stawie kolanowym występuje mała rozbieżność wyników równa 3% (Tab. 12).

**Tab. 13** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej niedominującej u tancerek grupy III w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa III)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	157,8	46	143	3,8	82,8	50
SD	9,2	6,7	9,4	1,9	5,0	8,2
CV	6%	15%	7%	51%	6%	16%

Średnia wyników uzyskanych przez badane tancerki z grupy III podczas zgięcia w stawie biodrowym kończyny dolnej niedominującej wynosi  $144,2 \pm 10,7^\circ$ . Największym wynikiem uzyskanym przed badanymi jest  $163^\circ$  a najmniejszym  $132^\circ$ . Podobna sytuacja pojawia się w odniesieniu do ruchu wyprostowania w tym stawie. W przypadku zgięcia w stawie kolanowym najmniejszy wynik wynosił  $129^\circ$  natomiast największy był równy  $141^\circ$ . Zaobserwowano małą rozbieżność wyników wynoszącą 3%. Średni zakres mobilności stawu skokowego wynosi:  $80,3 \pm 74,9^\circ$  w przypadku zgięcia i  $47,2 \pm 2,3^\circ$  w przypadku wyprostowania (Tab. 13).

**Tab. 14** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej dominującej u tancerek grupy IV w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa IV)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	202,7	100,6	136,9	4,7	88,1	100,9
SD	6,0	8,8	7,2	1,8	6,0	6,7
CV	3%	9%	5%	38%	7%	7%

**Tab. 15** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny górnej niedominującej u tancerek grupy IV w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa IV)					
	ramienny		łokciowy		nadgarstkowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	195	94,6	129,7	3,7	82,7	94,7
SD	7,4	9,7	9,3	1,9	4,8	8,8
CV	4%	10%	7%	51%	6%	9%

W IV grupie badanych uprawiających dwa stylu tanecznych hip-hop oraz jazz najmniejsza wartość  $193^\circ$  została zanotowana w ruchu zgięcia w stawie ramiennym a największa wyniosła  $211^\circ$ . Współczynnik zmienności wykazał małą zmienność wynoszącą 3% (Tab. 14). W tym samym stawie w trakcie ruchu wyprost odnotowano  $90^\circ$  jako wartość najniższą oraz  $114^\circ$  jako wartość najwyższą. W stawie łokciowym podczas ruchu zgięcia średnia wartość wyniosła  $136,9 \pm 7,2^\circ$ . Największy wynik wynosi  $147^\circ$ , a najmniejszy  $125^\circ$ . Podczas wyprost zaobserwowano bardzo dużą wartość współczynnika zmienności (38%), gdzie wyniki sięgają od 2 do  $7^\circ$ .

Podczas badania kończyny górnej niedominującej w grupie IV został przeanalizowany staw ramienny (Tab. 15). W trakcie ruchu zgięcia minimalna wartość wynosiła  $184^\circ$ , natomiast największa  $206^\circ$ . W ruchu wyprost współczynnik zmienności wykazuje umiarkowane rozproszenie wyników w grupie – 10%. Staw łokciowy był następnym stawem uwzględnionym w tym badaniu, gdzie podczas zgięcia można zauważyć umiarkowane rozproszenie wyników 7%. Wartość minimalna i maksymalna wynoszą odpowiednio  $115$  oraz  $144^\circ$ . W tej grupie badanej zauważalny jest wysoki współczynnik zmienności podczas wyprost stawu łokciowego – 51%.

**Tab. 16** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej dominującej u tancerek grupy IV w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna dominująca (grupa IV)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	167,1	49,3	148	7,6	90,9	58,3
SD	6,3	5,2	6,9	2,6	5,3	5,6
CV	4%	10%	5%	34%	6%	10%

W trakcie ruchu zgięcia stawu biodrowego kończyny dominującej w grupie IV minimalna wartość wynosiła  $158^\circ$ , natomiast największa  $175^\circ$  (Tab. 16). Podczas wykonania ruchu wyprost współczynnik zmienności wykazuje znaczne rozproszenie wyników w grupie (10%). W przypadku zgięcia w stawie kolanowym rozrzut wyników był niższy i wyniósł 5%. Najmniejszy wynik to  $140^\circ$ , a największy to  $158^\circ$ . Dużą różnicę w wynikach w tej grupie stwierdzono podczas wyprost, a co wskazuje współczynnik zmienności (34%). Największy zakres w tym stawie wynosi  $11^\circ$ , a najmniejszy  $4^\circ$ .

**Tab. 17** Statystyka opisowa wyników zakresu ruchu w stawach kończyny dolnej niedominującej u tancerek grupy IV w wieku 11-12 lat

Staw	Kończyna dolna niedominująca (grupa IV)					
	biodrowy		kolanowy		skokowo-goleniowy	
Kąt [°]	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost	Zgięcie	Wyprost
Średnia	161,6	43,6	144,6	6,1	85,1	53,4
SD	6,5	5,3	8,3	2,1	6,5	4,5
CV	4%	12%	6%	34%	8%	8%

Średnia wyników uzyskanych przez badane tancerki z grupy IV podczas zgięcia w stawie biodrowym kończyny dolnej niedominującej wynosi  $161,6 \pm 6,5^\circ$ . Zaobserwowano niewielkie rozproszenie wyników wynoszące 4%. Największym wynikiem uzyskanym przez badane tancerki jest  $170^\circ$ , a najmniejszym  $150^\circ$ . Inna sytuacja wystąpiła podczas wyprostów w tym stawie. Najmniejszy wynik jaki zanotowano to  $37^\circ$  natomiast największy to  $49^\circ$  co wskazuje na duże rozproszenie wyników ( $CV = 12\%$ ). W przypadku zgięcia w stawie kolanowym najmniejszy wynik to  $136^\circ$  natomiast największy był równy  $156^\circ$ . Średni zakres mobilności stawu skokowego wynosi:  $85,1 \pm 6,5^\circ$  w przypadku zgięcia i  $53,4 \pm 4,5^\circ$  w przypadku wyprostów. W obu ruchach współczynnik zmienności sklasyfikowano na poziomie umiarkowanym równy 8% (Tab. 17).

Następnym krokiem w badaniach było porównanie wyników pomiarów zakresów ruchomości w stawach kończyn dominujących tancerek w różnym wieku bez uwzględnienia stylu tanecznego.

**Tab. 18** Występowanie różnic istotnych statystycznie pomiędzy grupami tancerek w wieku 9-10 lat (gr I n = 12) i 11-12 lat (gr II n = 18) przy zastosowaniu testu U Manna Whitney'a

grupa	Rank Sum		Średnia R		U	Z	p	Z	p	R
	I	II	I	II						
mc	115	350	9,6	19,4	37	-2,98	0,002	-2,99	<b>0,002</b>	0,65
Staż	78	387	6,5	21,5	0	-4,55	0,000	-4,63	<b>0,000</b>	1,00
KGD (rw)	256	209	21,3	11,6	38	2,94	0,003	2,95	<b>0,003</b>	0,65
KGND (rw)	236,5	228,5	19,7	12,7	57	2,12	0,034	2,12	<b>0,033</b>	0,47
KDD (bw)	250,5	214,5	20,9	11,9	43	2,71	0,006	2,71	<b>0,006</b>	0,60
KDND (sz)	136,5	328,5	11,4	18,3	58	-2,07	0,038	-2,08	<b>0,037</b>	0,46

Legenda: mc [kg] – masa ciała, staż [lata] – staż taneczny, KGD [°] (rw) – kończyna górna dominująca, staw ramienny – wyprost, KGND [°] (rw) – kończyna górna niedominująca, staw ramienny – wyprost, KDD [°] (bw) – kończyna dolna dominująca, staw biodrowy – wyprost, KDND [°] (sz) – kończyna dolna niedominująca, staw skokowy – zgięcie, p – poziom istotności <0,05.

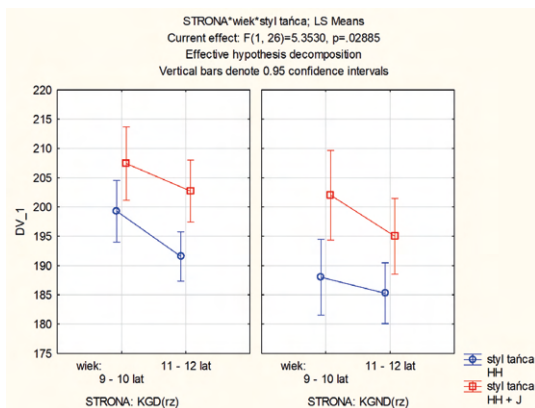
Młodsza grupę stanowiło 12 dziewcząt w wieku 9-10 lat, do starszej grupy zaliczono 18 tancerek w wieku 11-12 lat. Między grupami zaobserwowano różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ) dla następujących zamienych: masa ciała, staż taneczny oraz zakres ruchu w poszczególnych stawach. Różnica międzygrupowa dotyczy stawu ramiennego w wyproście kończyny dominującej i niedominującej dla stawu biodrowego w wyproście kończyny dominującej oraz dla stawu skokowo-goleniowego podczas zgięcia kończyny niedominującej (Tab. 18).

Do określenia zależności pomiędzy stażem treningowym a wynikami ruchomości poszczególnych stawów kończyn górnych i dolnych dominujących i niedominujących w zgięciu i wyproście badanych tancerek w wieku 9-12 lat uprawiających jeden lub dwa odmienne style taneczne, wykorzystano współczynnik korelacji rang Spearmana. Uzyskane wyniki zostały podane w tabeli 19.

**Tab. 19** Współzależność stażu treningowego z ruchomością w stawach kończyn dominujących i niedominujących w dwóch grupach tancerek uprawiających różne style (współczynnik korelacji rang Spearmana)

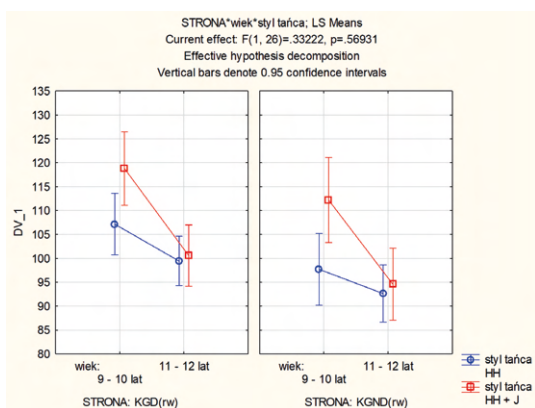
Kończyna (staw)	Grupa Hip-hop (rs)	Grupa Jazz + Hip-hop (rs)
Kończyna dominująca (ramienny - wyprost)	-0,480	-0,705
Kończyna niedominująca (ramienny - wyprost)	-0,245	<b>-0,700</b>
Kończyna dominująca (biodrowy - wyprost)	<b>-0,507</b>	-0,352
Kończyna dominująca (kolanowy - zgięcie)	<b>-0,491</b>	-0,296
Kończyna dominująca (kolanowy - wyprost)	<b>-0,784</b>	0,464
Kończyna niedominująca (kolanowy - wyprost)	-0,799	0,628
Kończyna niedominująca (skokowy - zgięcie)	<b>0,550</b>	0,312

Wyniki uzyskane przez badane tancerki w znacznym stopniu informują o niedoborze ćwiczeń gibkościowych poprawiających mobilność i elastyczność stawów zarówno kończyn dominujących jak i niedominujących. Wraz z wiekiem i stażem treningowym wystąpiła istotna różnica w zakresie ruchomości niektórych stawów na korzyść młodszych tancerek. Niezadowolające efekty treningu zaobserwowano na podstawie obniżenia ruchomości w trzech stawach – ramiennym, biodrowym i kolanowym. W stawie ramiennym zarówno kończyny dominującej jak i niedominującej w ruchu wyprostu wynik korelacji był silny ujemny, co świadczy o pogarszaniu się zakresów ruchu wraz z wiekiem i stażem treningowym tancerek. Podobnie dzieje się ze stawem biodrowym kończyny dominującej podczas wyprostu oraz stawem kolanowym kończyny dominującej w ruchu zgięcia i wyprostu. Jedynie w stawie skokowym w ruchu zgięcia wyniki wskazały pozytywny wpływ treningu tanecznego na mobilność tego stawu – dodatni współczynnik korelacji ( $r_s = 0,496$ ) (Tab. 19).

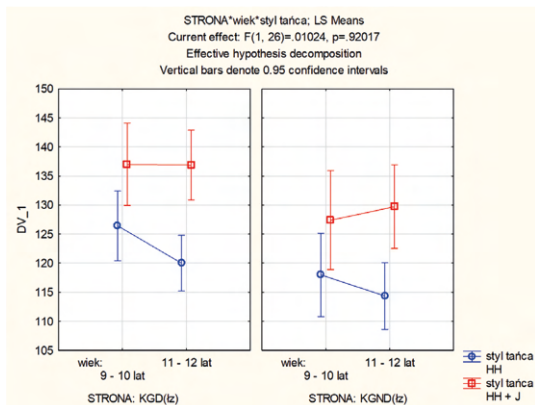


**Ryc. 1** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu zgięcia stawu ramiennego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.

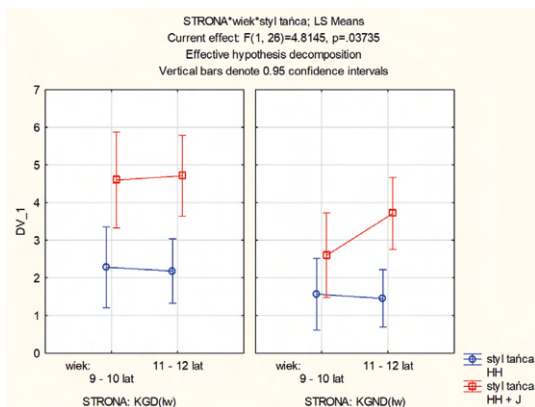
W kolejnej części wyników badań zostały zaprezentowane rezultaty testu ANOVA (test F Fishera-Snedecora) dla diagnozowania wpływu jednego czynnika na badaną zmienną zależną. Wyniki przedstawiono obrazowo za pomocą interpretacji graficznej efektu interakcji. Analiza miała na celu sprawdzenie czy u badanych tancerek występuje asymetria ruchomości stawów pomiędzy kończynami dominującymi (KD) i niedominującymi (KND) ( $p \leq 0,05$ ) i jakie czynniki mają na to wpływ.



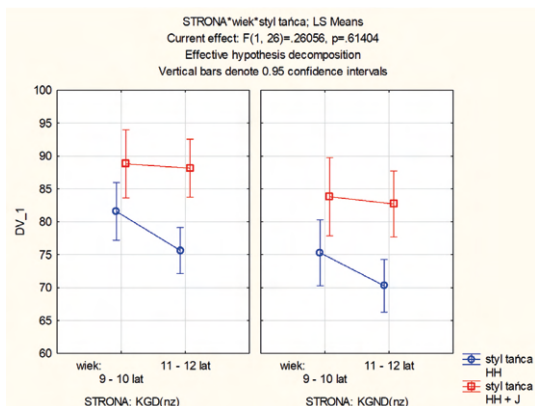
**Ryc. 2** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu wyprostowania stawu ramiennego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



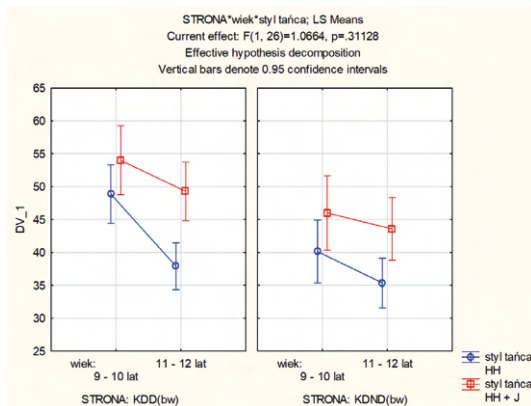
**Ryc. 3** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu zgięcia stawu łokciowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



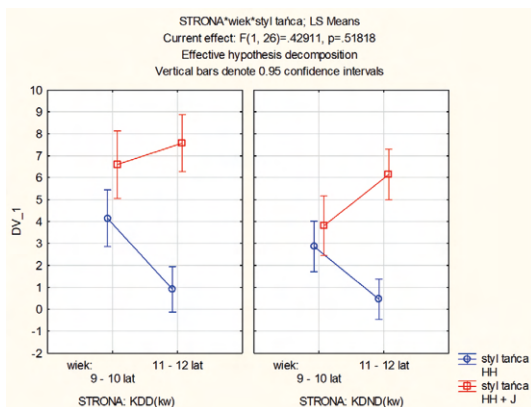
**Ryc. 4** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu wyprostowania stawu łokciowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



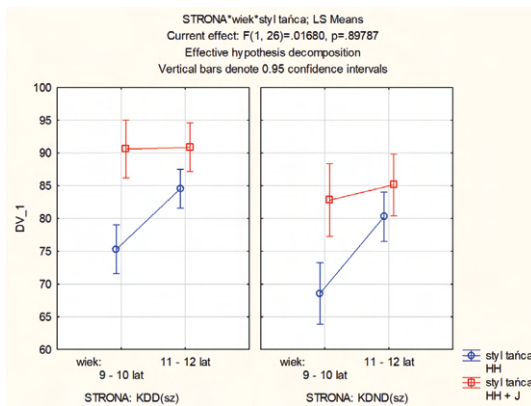
**Ryc. 5** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu zgięcia stawu nadgarstkowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



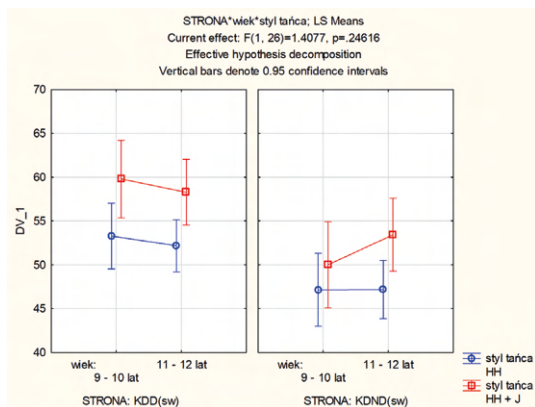
**Ryc. 6** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu wyprostowania stawu biodrowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



**Ryc. 7** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu wyprostowania stawu kolanowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



**Ryc. 8** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu zgięcia stawu skokowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.



**Ryc. 9** Interpretacja graficzna efektu interakcji analizy wariancji wieloczynnikowej ANOVA kończyny górnej dominującej i niedominującej w ruchu wyprostowania stawu skokowego w grupie badanych tancerek w wieku 9-12 lat.

Wyniki przeprowadzonej analizy świadczą, iż na zróżnicowanie istotne statystycznie między kończynami dominującymi a kończynami niedominującymi największy wpływ ma styl tańca w którym specjalizują się osoby badane. Wiek tancerek również istotnie różnicuje poziom osiągniętych zakresów ruchu, szczególnie w takich stawach jak: staw ramienny – wyprost ( $p = 0,001$ ), staw biodrowy – wyprost ( $p = 0,009$ ), staw skokowo-goleniowy – zgięcie ( $p = 0,006$ ). Natomiast w takich stawach jak: staw ramienny – ruch zgięcia ( $p = 0,029$ ) oraz staw łokciowy – ruch wyprostowania ( $p = 0,037$ ) różnicę istotną statystycznie powoduje zarówno wiek osób badanych jak i styl (Ryc. 1-9).

#### 4. Dyskusja

Ruch jest najbardziej wyraźnym środkiem przekazu w tańcu i formą komunikacji między artystą, a odbiorcą. Przeprowadzone badania pozwoliły poddać analizie zakres ruchu w stawach kończyn górnych i dolnych oraz zdiagnozować występowanie asymetrii funkcjonalnej u zawodniczek uprawiających jeden lub dwa odmienne style taneczne. Tancerki charakteryzują się dużą mobilnością stawów oraz elastycznością całego ciała, jednakże między poszczególnymi stylami występują zauważalne różnice. Jako przykład posłużył wynik uzyskany przez młodsze tancerki uprawiające zarówno hip-hop jak i jazz, gdzie średnia wartość zakresu ruchu w stawie skokowo-goleniowym podczas wyprostowania oscylowała na poziomie  $59,8 \pm 5,2^\circ$ . Według przyjętych norm wg. Zembatego [1989] dla tego stawu, zakres ruchu powinien wynosić  $20^\circ$ , co daje wynik blisko trzy razy niższy niż który uzyskały dziewczęta z grupy drugiej w wieku 9-10 lat uprawiające hip-hop i jazz. Różnice te prawdopodobnie wynikają i są efektem treningów tanecznych oraz specyfiką ruchu w konkretnym stylu.

Do przeprowadzonych badań zaangażowano tancerki specjalizujące się tylko w stylu hip-hop oraz dziewczęta uprawiające jednocześnie styl hip-hop i jazz. Znacznie lepszy zakres ruchu w stawie uzyskały dziewczęta uprawiające dwa style co potwierdzają wyniki testu U Manna-Whitney'a. Różnice te spowodowane

były wymogami jakie niesie za sobą styl jazzowy, który ma w sobie podstawy z tańca klasycznego, zawiera dużą ilość elementów akrobatycznych oraz kombinacji zaczerpniętych z gimnastyki artystycznej. Elementy techniczne dominujące w tym stylu to piruety oraz skoki. Główną cechą kształtowaną w trakcie zajęć z tańca jazzowego jest gibkość, która umożliwia wykonywanie obszernych, subtelných ruchów wykraczających poza przyjętą normę dla przeciętnego człowieka.

Zdecydowanie inną specyfiką ruchu występuje w stylu tańca hip-hop. Jest to taniec bardzo rytmiczny, dynamiczny oraz wymagający znakomicie rozwiniętej koordynacji ruchowej całego ciała. W przeciwieństwie do tańca jazzowego, rzadko pojawiają się tu elementy techniczne wymagające dużej gibkości i elastyczności poszczególnych partii ciała. Występujące w nim skomplikowane ewolucje i akrobacje podkreślają charakter i efektywność prezentowanych układów. W przypadku tego stylu zbyt duży zakres ruchu w stawie może przyczyniać się do systematycznego występowania urazów i kontuzji. Przykładem jest staw łokciowy i kolanowy, który w ruchu wyprostu osiąga wartość większą niż  $0^\circ$  co może utrudniać utrzymywanie określonych pozycji oraz wykonywanie dynamicznych, mocnych ruchów tancerzowi.

Interesującym jest porównanie wyników badań ruchomości w stawach między grupą dziewcząt uprawiających gimnastykę artystyczną a grupą tancerek. Mimo iż tancerki na tle norm przyjętych dla populacji charakteryzują się zdecydowanie większą ruchomością poszczególnych stawów, w porównaniu z gimnastyczkami, wyniki tancerek były znacząco słabsze. Specjalistyczne obserwacje wykazały podobną tendencję we wszystkich przebadanych stawach. Dziewczęta których specjalizacją był styl jazzowy miały bardziej zbliżone wyniki do dziewcząt trenujących gimnastykę co może mieć związek z wybranymi, poszczególnymi elementami wykorzystywanymi w obu dyscyplinach [Poliszczuk 2022]. Formalnie taniec nie zalicza się do dyscyplin sportowych, jednak wiele ćwiczeń, które wykonują artyści, nie różni się od tych wykonywanych w gimnastyce artystycznej [Drozdowski 1984]. Leanderson [1996] stwierdza, że tancerz baletu klasycznego jest kombinacją artysty oraz sportowca wyczynowego.

Ruchomość w stawach odgrywa w tańcu kluczową rolę. Jest to jedna z form przekazu i komunikacji między nadawcą, a odbiorcą [Bąk, 2016]. Przeprowadzono badania porównujące gibkość tancerek tańca klasycznego oraz akrobatek sportowych w wieku 11-13 lat, w których zaobserwowano, że dziewczęta uprawiające akrobatykę sportową poddawane są podobnemu treningowi gibkościowemu, kształtującemu poszczególne partie ciała, podobnie jak ich rówieśniczki ze szkoły baletowej [Celka i wsp. 2017]. Wiele pozycji, figur czy sekwencji tanecznych wymaga od zawodniczek pełnego zakresu ruchu w danym stawie. W zależności od stylu dominującą rolę odgrywają różne stawy. Przykładem jest taniec klasyczny, gdzie najistotniejsza jest elastyczność kończyn dolnych, a w tym trzech stawów: biodrowego, kolanowego i skokowo-goleniowego. W przypadku tańca hip-hop duże znaczenie odgrywa mobilność zarówno kończyn dolnych jak i kończyn górnych umożliwiającą

nienaturalne i dynamiczne poruszanie się w rytm określonej muzyki. Poprawna technika ruchu umożliwi tancerzom na płynność i precyzję ruchu co pozwala w bezpieczny i kontrolowany sposób utrzymać odpowiednie pozycje ciała oraz minimalizować ryzyko wystąpienia urazu czy kontuzji [Schoene 2007].

Dobrym rozwiązaniem wzbogacającym trening taneczny może być wprowadzenie zajęć Pilates do planu treningowego dziewcząt uprawiających taniec hip-hop. Jak potwierdzają badania przeprowadzone przez Lipko-Kowalską [2016], trening Pilates jest skuteczną metodą treningową w odniesieniu do rozwoju gibkości i elastyczności ciała.

Na podstawie przeprowadzonych badań i przeglądu pięmiennicwa stwierdzić, iż proces szkolenia i nauczania czynności ruchowych w tańcu powinien mieć wymiar wszechstronny i bazować na technice z różnych stylów tanecznych oraz innych dyscyplin sportu. Taki kompleksowy i bogaty charakter treningu pozwoli na równomierny i doskonały rozwój całego układu ruchowego tancerza oraz adaptację do zróżnicowanej pracy wszystkich grup mięśniowych. Dodatkowo umiejętność i elastyczność przystosowywania się do zmiennych warunków środowiska, w których często musi umieć odnaleźć się profesjonalny tancerz jest niezbędna i wychwytywana w późniejszej karierze zawodowej.

## 5. Podsumowanie

Zakres ruchomości w stawach kończyn górnych i dolnych dominujących i niedominujących u tancerek uprawiających jeden lub dwa odmienne style taneczne: hip-hop oraz jazz charakteryzuje się znaczenie większym zakresem ruchu niż normy przyjęte dla populacji. Tancerki specjalizujące się w dwóch stylach jednocześnie hip-hop oraz jazz charakteryzują się znacznie większym zakresem ruchu we wszystkich stawach w porównaniu do tancerek hip-hop. Trening taneczny w stylu hip-hop już od najmłodszych lat winien być wzbogacony w elementy i ćwiczenia rozciągające i poprawiające mobilność całego układu ruchowego.

Zaobserwowano występowanie asymetrii funkcjonalnej zakresów ruchomości w stawach u tancerek w wieku 9-12 lat uprawiających jednocześnie hip-hop i jazz. Ten fakt potwierdza potrzebę wprowadzenia do treningu tanecznego ćwiczenia uzupełniającego i kształtującego symetryczny rozwój sprawności tych kończyn.

Stwierdzono występowanie związku pomiędzy wiekiem tancerek, a ruchomością w stawach: ramiennym, biodrowym oraz kolanowym na korzyść młodszych zawodniczek. Jedynie w stawie skokowo-goleniowym w ruchu zgięcia wyniki wskazały dodatni współczynnik korelacji, czyli pozytywny wpływ treningu tanecznego na mobilność tego stawu. W ciągu wszystkich etapów szkolenia tanecznego należy systematycznie stosować ćwiczenia gibkościowe i rozciągające bez obniżenia intensywności i objętości treningu ukierunkowanego wraz z wiekiem i stażem ćwiczących.

**Piśmiennictwo**

- [1] Alpert P.T. *The health benefits of dance*. Home Health Care. Management & Practice. 2011, 23(2):155-157.
- [2] Alter M. *Science of Flexibility* (3rd ed.) Human Kinetics, Champaign IL. 2004.
- [3] Babiarczyk K., Wilczyńska E. *Taniec jako forma rekreacji oraz wpływ na zdrowie człowieka*. Lublin, Wydawnictwo Naukowe Tygiel. 2021:77-83.
- [4] Bąk J. *Taniec nowoczesny*. Dragon. Bielsko-Biała. 2016.
- [5] Calvo-Merino B., Glaser D. E., Grèzes J., Passingham R. E., Haggard P. *Action observation and acquired motor skills: An fMRI study with expert dancers*. Cerebral Cortex. 2005, 15(8):1243-1249.
- [6] Celka R., Adamczyk J., Zieliński W., Stanoch M. *Poziom podstawowych cech budowy somatycznej oraz sprawności fizycznej młodych tancerek klasycznych, na tle rówieśniczek uprawiających akrobatykę sportową – charakterystyka porównawcza*. AWF Poznań, 2017.
- [7] Drozdowski Z. *Antropologia sportowa*. AWF w Poznaniu. 1984, 73:152.
- [8] Gannon L., Bird H. *The quantification of joint laxity in dancers and gymnasts*. J Sport Sciences. 1999, 17:743-750.
- [9] Graczykowska B. *Ruch i taniec nie jedno ma imię*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. 2007.
- [10] Kuźmińska O. *Taniec w teorii i w praktyce*. AWF Poznań. 2002.
- [11] Leanderson J., Eriksson E., Nilsson C. *Proprioception in classical ballet dancers: a prospective study of the influence of an ankle sprain on proprioception in the ankle joint*. American Journal of Sports Medicine. 1996, 24(5):370-374.
- [12] Lipko-Kowalska M. *The effects of pilates exercises on some elements of physical fitness and body composition*. Studia Periegetica. 2016, 16:183-192.
- [13] Olex-Zarychta D. *Lateralizacja funkcjonalna kończyn człowieka i jej uwarunkowania w zakresie koordynacji motorycznej*. AWF. Katowice. 2010.
- [14] Poliszczuk T. *Ruchomość stawów kończyn dominujących i niedominujących u zawodniczek uprawiających gimnastykę artystyczną*. W: Biomechaniczne aspekty ruchu. Red. Czesław Urbanik, Andrzej Mastalerz, Dagmara Iwańska. AWF, Warszawa. 2022:112-127.
- [15] Russell J.A. *Preventing dance injuries: current perspectives*. Open access Journal of Sports Medicine. 2013:199-210.
- [16] Schoene L.M. *Biomechanical evaluation of dancers and assessment of their risk of injury*. J Am Podiatr Med Assoc. 2007, 97(1):75-80.
- [17] Starosta W. *Symetria i asymetria ruchów w sporcie*. ISBN. Warszawa. 1990.
- [18] Zembaty A. *Pomiary zakresów ruchów w stawach człowieka*. Wydawnictwo AWF. 1989.

## **Charakterystyka fizjologiczna biegaczy ultramaratonów w porównaniu do mężczyzn nieaktywnych fizycznie**

### **Physiological characteristics of ultramarathon runners compared to physically inactive men**

**A. MRÓZ<sup>1</sup>, K. WITEK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: anna.mroz@awf.edu.pl

<sup>2</sup>Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Zakład Sportów Zimowych  
e-mail: katarzyna.witek@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: ultramaraton, wydolność tlenowa, układ krążenia, profil lipidowy*

#### **1. Wstęp**

Bieganie jest jedną z najpopularniejszych form aktywności fizycznej, ponieważ jest naturalne, nie wymaga żadnego dodatkowego sprzętu i można je uprawiać wszędzie. Aktywność ta wykonywana jest ze względu na liczne korzyści zdrowotne, m.in. zwiększa wydatek energetyczny, co wpływa na redukcję masy ciała, zwiększa adaptację sercowo-naczyniową oraz układu oddechowego do wysiłku, może również zapobiegać lub wspomagać leczenie chorób cywilizacyjnych czy zmniejszać ryzyko śmierci [Lavie i wsp. 2015, Lee i wsp. 2014].

Systematyczny trening biegowy chroni również zdrowie psychiczne, poprawia nastrój i samopoczucie oraz redukuje stres [Grunseit i wsp. 2018, Duz i wsp. 2024]. Regularna aktywność fizyczna stymuluje wydzielanie endorfin, co prowadzi do tzw. „efektu euforii biegacza”. Stwierdzono, że u maratończyków występuje mniej objawów depresyjnych, niższy poziom lęku, więcej pozytywnych emocji i wyższy poziom funkcjonowania w porównaniu do osób prowadzących tzw. siedzący tryb życia [Roeh i wsp. 2020]. U biegaczy zaobserwowano również istotnie wyższą wytrzymałość psychiczną w porównaniu z zawodnikami innych dyscyplin sportowych [Brace i wsp. 2020]. Osoby nieaktywne fizycznie częściej natomiast doświadczają problemów ze zdrowiem psychicznym, co może wynikać z braku regularnego ruchu oraz związanych z nim korzyści. W dużej mierze dzięki tym pozytywnym skutkom jogging i bieganie z niską intensywnością stały się szybko rozwijającą się formą aktywności sportowej angażującej coraz większą liczbę uczestników obydwu płci w szerokim przedziale wiekowym. Podobnie jak w przypadku innych form realizowanej aktywności, ta również została doprowadzona do ekstremum przez niektórych jej adeptów. W rezultacie część osób, które początkowo podejmowały

tę aktywność dla zdrowia lub w celach rekreacyjnych, zaczęła uprawiać bardziej intensywne i dłuższe biegi, w tym taką ich formę, jaką są maratony i ultramaratony.

Ultramaratony definiowane są jako imprezy biegowe, w których dystans jest dłuższy niż tradycyjny maraton, który wynosi 42,195 km. Najkrótszym ultramaratonem jest bieg na 50 km, ale bieg ultra można również zdefiniować jako zawody biegowe trwające 6 godzin lub dłużej ([www.biegamy.pl/bieganie/5-najwiekszych-ultramaratonow-w-polsce](http://www.biegamy.pl/bieganie/5-najwiekszych-ultramaratonow-w-polsce)). Istnieje wiele biegów na różnych dystansach, przy czym najdłuższe ultramaratony mają ekstremalne długości ponad 1500 km czy ponad 3000 mil.

Trening biegowy ultramaratończyków prowadzi do licznych adaptacji fizjologicznych, które mają na celu zwiększenie wydolności fizycznej organizmu. Zwiększa pojemność płuc, poprawia ukrwienie mięśni, powoduje zmiany w składzie włókien mięśniowych, z większym udziałem włókien typu I, które są bardziej wytrzymałe na zmęczenie. Ponadto wzrasta efektywność pracy, zwiększa się liczba mitochondriów w komórkach mięśniowych, co przekłada się na lepszą zdolność do produkcji energii [Joyner i Coyle 2007].

Ultramaraton prowadzi do powstania deficytu energetycznego, co skutkuje redukcją zarówno tkanki tłuszczowej, jak i masy mięśni szkieletowych [Knechtle i Nikolaidis 2018]. Bieg ten wiąże się z dużym zapotrzebowaniem energetycznym. W badaniach podczas 24-godzinnego ultramaratonu biegacze byli w stanie utrzymać prędkość biegu tylko przez pierwsze 6 godzin, po tym czasie prędkość była coraz mniejsza [Gimenez i wsp. 2013]. Wydatek energetyczny tak długiego wysiłku może wynosić ponad 6300 kcal. Aby pokryć zapotrzebowanie energetyczne, zawodnicy muszą dostarczać odpowiednio duże ilości kilokalorii podczas biegu. Niektórzy zawodnicy mimo spożywanych posiłków podczas wyścigu, nie są w stanie zaspokoić zapotrzebowania energetycznego, a w niektórych przypadkach powstaje znaczny deficyt energetyczny [Enqvist i wsp. 2010]. Uczestnicy ultramaratonu, którzy dostarczali podczas startu wymaganej ilości energii częściej kończą bieg, niż osoby, które nie uzupełniały wydatkowanych kilokalorii [Glance i wsp. 2002].

Osoby nieaktywne, w porównaniu z biegaczami, często borykają się z takimi problemami zdrowotnymi jak otyłość, insulinooporność, czy zwiększone ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2. Regularna aktywność fizyczna, a tym bardziej trening biegowy, może znacząco zmniejszyć ryzyko wystąpienia tych schorzeń [Martinez-Montoro i wsp. 2023].

W biegach na długie dystanse resynteza ATP odbywa się głównie na skutek zachodzących procesów tlenowych, w których organizm wykorzystuje tlen do metabolizowania węglowodanów i tłuszczów. Zdolność organizmu do efektywnego wykorzystania tlenu, określana jako maksymalne pobranie tlenu ( $VO_{2max}$ ) jest jednym z najważniejszych wskaźników aerobowych możliwości wysiłkowych. W miarę treningu  $VO_{2max}$  może wzrastać, co pozwala biegaczom na dłuższe kontynuowanie wysiłku z określoną intensywnością [Joyner 1985]. Istnieją dowody

wskazujące na to, że oprócz wieku, płci, doświadczenia biegowego, sprawności mechanizmów termoregulacyjnych, czy aspektów żywieniowych, kluczowym czynnikiem determinującym wyniki w ultramaratonie jest  $VO_{2max}$  oraz prędkość uzyskana na poziomie  $VO_{2max}$  ( $vVO_{2max}$ ) [Denadai i Greco 2022]. Sabater-Pastor i wsp. [2023] również potwierdzili przydatność wskaźników  $VO_{2max}$  i prędkość przy  $VO_{2max}$  w predykcji wyników w 166-kilometrowym biegu terenowym i sugerują, że biegacze ultra powinni skoncentrować się na rozwijaniu tych dwóch zmiennych, by zoptymalizować swoje wyniki w biegu. U zawodników ultra stwierdzono istotne zwiększenie maksymalnego pochłaniania tlenu, co przekłada się na lepszą wydolność podczas długotrwałych wysiłków [Joyner i Coyle 2008].  $VO_{2max}$  jest uznawane za jeden z najważniejszych parametrów wydolnościowych, który koreluje z wynikami sportowymi w biegach długodystansowych.

U ultramaratończyków zdolność do utrzymania wysokiego poziomu  $VO_{2max}$  może znacząco wpływać na osiągnięte wyniki w zawodach. Maksymalny pobór tlenu u biegaczy długodystansowych może wynosić od 60 do 80 ml/kg/min, a zróżnicowanie to zależy od indywidualnych predyspozycji oraz stanu wytrenowania [Bassett i Howley 2000]. Z kolei Denadai i wsp. [2022] stwierdzili, że w przypadku biegów długodystansowych od 5000 m do ultramaratonu, oprócz  $VO_{2max}$ , stężenie mleczanu we krwi wydaje się być głównym predyktorem wydajności wysiłkowej. Regularny trening biegowy o charakterze wytrzymałościowym prowadzi do adaptacji metabolicznych, które mogą zwiększać  $VO_{2max}$ .

U zawodników ultra, regularne bieganie na długich dystansach skutkuje wzrostem zarówno pojemności tlenowej, jak i wydolności sercowo-naczyniowej [Joyner i Coyle 2008]. Stwierdzono, że adaptacja do tego typu wysiłków dotyczy wskaźników kardiologicznych, takich jak tętno i ciśnienie tętnicze. Obserwowane modyfikacje tych parametrów wynikające z długotrwałego wysiłku dotyczą obniżenia spoczynkowego tętna oraz poprawę wydolności serca [Fletcher i wsp. 2013]. U sportowców wytrzymałościowych, takich jak biegacze długodystansowi, spoczynkowe tętno może wynosić nawet 40-50 uderzeń na minutę. Zjawisko to jest wynikiem zwiększenia objętości wyrzutowej serca oraz poprawy efektywności pompowania krwi przez serce [Nagashima i wsp. 2003, Caselli i wsp. 2015]. Podobne zmiany zaobserwowano u innych zawodników wytrzymałościowych, takich jak kolarze, wioślarze czy pływacy, u których odnotowano największą objętość lewej komory w rozkurczu w porównaniu do innych dyscyplin [Spirito i wsp. 1994]. Wyniki fizjologicznego przerostu lewej komory wywołanego regularnym i intensywnym treningiem wytrzymałościowym zostały potwierdzone w badaniach echokardiograficznych i MRI. Dzięki zastosowaniu rezonansu magnetycznego możliwe było wykazanie, że regularny i intensywny trening wytrzymałościowy skutkuje podobnymi zmianami masy, objętości i funkcji zarówno lewej, jak i prawej komory serca [Scharhag i wsp. 2002].

Podobnie jak tętno, ciśnienie tętnicze jest regulowane przez wiele czynników, w tym objętość krwi, opór naczyniowy oraz wydolność serca. W przypadku osób

aktywnych fizycznie, regularne ćwiczenia, mogą prowadzić do obniżenia zarówno ciśnienia skurczowego, jak i rozkurczowego. Wykazano, że regularny trening o charakterze tlenowym powoduje obniżenie skurczowego ciśnienia tętniczego średnio o 8 mmHg, a rozkurczowego o 5 mmHg [Cornelissen i Smart 2013]. Podobne zmiany ciśnienia tętniczego uzyskano na skutek zastosowania treningu aerobowego o umiarkowanej intensywności przez 10 tygodni (3 x 45 min) [Brito i wsp. 2019]. Hipotensyjny efekt treningu aerobowego został szeroko opisany w literaturze. Mechanizmy takich zmian obejmują zwiększenie elastyczności naczyń krwionośnych, redukcję oporu naczyniowego oraz poprawę profilu lipidowego [Mora i wsp. 2007].

Udowodniono, że aktywność fizyczna ma istotny wpływ również na profil lipidowy i jonogram. Osoby, które regularnie uczestniczą w treningu wytrzymałościowym mają znacznie korzystniejsze wskaźniki lipidogramu w porównaniu do osób prowadzących siedzący tryb życia. Zwiększenie aktywności fizycznej wpływa na obniżenie poziomu cholesterolu LDL oraz trójglicerydów, a także na podwyższenie poziomu cholesterolu HDL [Doewes i wsp. 2023]. W innych badaniach stwierdzono, że już 12-tygodniowy trening fizyczny skutkuje obniżeniem ciśnienia krwi i korzystnymi zmianami profilu lipidowego takimi jak: obniżenie stężenia cholesterolu całkowitego o 6%, cholesterolu LDL o 14% i trójglicerydów o 11% oraz podwyższenie stężenia cholesterolu HDL o 11% [Tsai i wsp. 2002]. Mechanizm tych zmian jest złożony. Trening wytrzymałościowy zwiększa metabolizm lipidów, co prowadzi do ich efektywniejszego spalania. Ponadto, regularna aktywność fizyczna sprzyja poprawie wrażliwości na insulinę, co również może wpływać na profil lipidowy [Kelley i Kelley 2006]. Zmniejszone wydalanie aminokwasów wiąże się ze zwiększonym poziomem sprawności i zwiększoną szybkością utleniania tłuszczu podczas ćwiczeń aerobowych [Morris i wsp. 2013]. Długotrwały wysiłek fizyczny wiąże się z utratą elektrolitów przez pot, co może prowadzić do zaburzeń w jonogramie, jeśli elektrolity nie są odpowiednio uzupełniane. Zaleca się, aby osoby aktywne fizycznie monitorowały spożycie elektrolitów, zwłaszcza podczas długotrwałych treningów czy wysiłków startowych [Shirreffs 2009]. Obniżenie stężenia sodu, potasu, wapnia czy magnezu może wpływać na wydolność organizmu oraz pracę serca.

Trening biegowy ultra ma również istotny wpływ na układ kostno-mięśniowy. Prowadzi do wzrostu gęstości mineralnej kości, zwiększenia masy mięśniowej oraz poprawę ich wytrzymałości. Jednakże, trening biegowy z pokonywaniem tak dużych odległości niesie ze sobą ryzyko urazów. Rodzaje i częstość ich występowania są dobrze opisane w literaturze. Wielokrotnie występujące kontuzje, takie jak zapalenie ścięgien, przeciążenia stawów czy złamania zmęczeniowe, są powszechne wśród ultramaratończyków [Knechtle i Nikolaidis 2018]. Najczęściej kontuzji ulegają okolice stawu kolanowego (31,3%) i stawu skokowego (28,1%). Najczęstszym pojedynczym rozpoznaniem był zespół bólu rzepkowo-udowego, zapalenie ścięgna Achillesa i tzw. zespół stresu piszczelowego przyśrodkowego. Często stan zapalny dotyczył jednego lub wielu ścięgien mięśni strzałkowych [Fallon 1996]. Odpowiednia technika biegu, w tym optymalna długość kroku i częstotliwość, mogą zmniejszyć

ryzyko kontuzji oraz zwiększyć efektywność energetyczną. W przeciwieństwie do osób nieaktywnych, które nie są narażone na takie urazy, ultramaratończycy muszą podejmować dodatkowe środki ostrożności w celu ochrony swojego układu kostno-mięśniowego.

W ostatnich latach obserwuje się wzrost udziału biegaczy w ultramaratonach. Bieg ten przyciąga wielu entuzjastów, zarówno amatorów, jak i zawodowców. Jest on ekstremalnym wysiłkiem podejmowanym przez coraz więcej osób, dlatego też staje się coraz bardziej interesujący dla badań naukowych. Tak długi wysiłek powoduje przesunięcie fizjologicznych i psychicznych granic ludzkiego organizmu. Z tego powodu istotne staje się zrozumienie wpływu tak skrajnej aktywności fizycznej na organizm, w szczególności w odniesieniu do osób prowadzących siedzący tryb życia. W związku z tym celem pracy było porównanie wybranych wskaźników antropometrycznych, fizjologicznych i biochemicznych mężczyzn regularnie uczestniczących w biegach ultra z grupą nieaktywną fizycznie. Dokonano analizy porównawczej składu ciała, spoczynkowych wskaźników układu krążenia, wskaźników wydolnościowych oraz profilu lipidowego.

## 2. Materiał i metody badań

### Materiał badań

W badaniach wzięło udział łącznie 39 zdrowych mężczyzn w wieku około 40 lat, którzy na ochotnika wyrazili chęć przystąpienia do badań i przestrzegania protokołu. Wstępne badanie przesiewowe przeprowadzono u każdego uczestnika w formie kwestionariusza medycznego w celu wykluczenia wszelkich znanych schorzeń, wg opisu [Małek i wsp. 2020]. Pierwszą grupę (Gr. T) stanowiło 29 mężczyzn ( $40,62 \pm 6,59$  lat). Byli to biegacze ultramaratonów ze stażem treningowym 9 lat, biegnących co najmniej 70-90 km/tydzień, z częstymi startami w zawodach ultramaratonów. Natomiast 10 mężczyzn ( $42,59 \pm 7,81$  lat) nie uczestniczyło w żadnej formie aktywności fizycznej (Gr. NT). Antropometryczną charakterystykę badanych grup mężczyzn przedstawiono w wynikach badań w tabeli 2.

### Metody badań

Pomiary przeprowadzono w pracowni fizjologicznej AWF Warszawa. Po zakwalifikowaniu uczestników do badań oraz podpisaniu oświadczeń, zmierzono wysokość ciała za pomocą stadiometru i zaokrąglano do jednego cm. Masę ciała z dokładnością do 0,1 kg oraz skład ciała zmierzono za pomocą analizatora składu ciała Tanita BC-418. W pozycji leżącej, po 5 minutach spoczynku zmierzono tętno za pomocą czujnika na klatce piersiowej (Polar, Finlandia) i ciśnienie tętnicze metodą osłuchową.

Zgodnie z procedurą aseptyczną, pobrane zostało na czczo około 3 ml krwi żyłnej z żyły łokciowej przez wykwalifikowanego technika laboratoryjnego. Następnie wykonano analizę w laboratorium analitycznym, gdzie oznaczono parametry profilu

lipidowego: cholesterol całkowity (TC mg/dl), cholesterol frakcji HDL mg/dl, cholesterol frakcji LDL mg/d, cholesterol non-HDL mg/dl oraz trójglicerydy (TG mg/dl).

W celu oceny maksymalnych wartości wskaźników krążeniowo-oddechowych, badani wykonali test wysiłkowy o wzrastającej intensywności. Bezpośrednio przed testem właściwym badani wykonali 10-minutową rozgrzewkę na bieżni składającą się z truchtu lub wolnego biegu we własnym tempie. Z uwagi na charakter treningu wytrzymałościowego badanych biegaczy, który polega głównie na dużej objętości przy niskiej i umiarkowanej intensywności, test wysiłkowy składał się z kombinacji różnej prędkości i nachylenia bieżni. Przeprowadzony został na bieżni mechanicznej Saturn HP Cosmos (Niemcy), zaczynając od prędkości 10 km/h i nachylenia 1°. Prędkość bieżni zwiększano co 2 minuty o 1 km/h, natomiast nachylenie wzrastało o 1° począwszy od prędkości 15 km/h [Porszasz i wsp. 2003]. Wysiłek był kontynuowany aż do zmęczenia wolicjonalnego uczestników. Schemat zmian obciążenia przedstawiono w tabeli 1. Dodatkowo badanym biegaczom podawano tempo biegu przy każdej prędkości.

**Tab. 1** Schemat obciążenia w teście wysiłkowym o wzrastającej intensywności

<b>Etap</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Prędkość [km/h]	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tempo [min/km]	6:00	5:27	5:00	4:36	4:17	4:00	3:44	3:31	3:20
Nachylenie %	1	1	1	1	1	2	3	4	5

W celu rejestracji wskaźników oddechowych wykorzystano przenośny ergospirometr Metamax 3B (Cortex, Niemcy) [Macfarlane i Wong 2011]. Przed testem wysiłkowym przeprowadzono kalibrację wentylacyjną i gazową urządzenia. Do kalibracji wentylacyjnej wykorzystano standaryzowaną strzykawkę o pojemności 3 l. Do kalibracji gazowej wykorzystano mieszkankę gazową o składzie: 14,97% O<sub>2</sub>, 4,96% CO<sub>2</sub>, balans N. Badani oddychali przez maskę podłączoną do ergospirometru. Moduł pomiarowy oraz bateria na specjalnych szelkach zostały założone na tułów badanego. Na klatkę piersiową założony został pasek z kompatybilnym z ergospirometrem czujnikiem tętna (Polar, Finlandia). Test przeprowadzono z ciągłym pomiarem wskaźników krążeniowo-oddechowych takich jak: wentylacja minutowa płuc (VE), pobór tlenu (VO<sub>2</sub>), wydychany dwutlenek węgla (VCO<sub>2</sub>) i współczynnik wymiany oddechowej (RER). Wskaźniki rejestrowane były sposobem z oddechu na oddech. Dane z poszczególnych oddechów uśredniano w czasie 15 sekund.

Przeprowadzone badania były zgodne z Deklaracją Helsińską. Od wszystkich uczestników uzyskano pisemne oświadczenia zgody na udział w badaniach. Zarówno protokół badania, jak i oświadczenie zgody zostały zatwierdzone przez Komisję Etyczną Okręgowej Izby Lekarskiej w Warszawie.

Zmienne wyrażono jako średnie arytmetyczne z odchyleniem standardowym ( $\pm$ SD). Normalność rozkładu zbadano testem Kołmogorowa-Smirnowa, a różnice między wskaźnikami zweryfikowano testem T dla grup niezależnych lub nieparametrycznym testem U Manna-Whitneya, w zależności od wyniku rozkładu. Istotność różnic przyjęto na poziomie  $p < 0,05$ . Obliczenia przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Statistica w wersji 13.3.

### 3. Wyniki

W tabeli 2 przedstawiono średnie wartości wskaźników antropometrycznych oraz składu ciała. Badane dwie grupy mężczyzn nie różniły się wysokością ciała, stwierdzono natomiast statystycznie istotne niższe wartości masy ciała, a co za tym idzie, wskaźnika BMI u ultramaratończyków. Zawartość tkanki tłuszczowej zarówno w %, jak i w kilogramach oraz całkowita zawartość wody była istotnie niższa w grupie mężczyzn biegających ultramaratony. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic w zawartości beztłuszczowej masy ciała w obydwu badanych grupach.

**Tab. 2** Średnie wartości wskaźników antropometrycznych oraz składu ciała badanych mężczyzn

Zmienna	Gr T	Gr NT
Masa ciała kg	73,63 $\pm$ 7,48*	91,26 $\pm$ 20,23
Wysokość ciała cm	177,34 $\pm$ 4,67	179,50 $\pm$ 4,55
BMI	23,55 $\pm$ 2,35*	28,25 $\pm$ 5,84
FAT %	11,39 $\pm$ 5,02*	20,22 $\pm$ 7,65
FAT [kg]	8,73 $\pm$ 4,89*	19,66 $\pm$ 11,46
FFM [kg]	65,54 $\pm$ 3,84	69,76 $\pm$ 12,15
TBW [kg]	47,98 $\pm$ 2,81*	52,36 $\pm$ 7,06

Średnie wartości podstawowych wskaźników układu krążenia mierzonych w spoczynku przedstawiono w tabeli 3. Ultramaratończycy mieli statystycznie niższe wartości tętna spoczynkowego oraz rozkurczowego ciśnienia tętniczego. W wartościach ciśnienia skurczowego nie było istotnych statystycznie różnic.

**Tab. 3** Spoczynkowe wartości podstawowych wskaźników układu krążenia

Zmienna	Gr T	Gr NT
HRsp [bpm]	58,14 $\pm$ 8,34*	65,70 $\pm$ 11,57
SBPsp [mmHg]	123,27 $\pm$ 12,30	126,11 $\pm$ 6,97
DBPsp [mmHg]	73,46 $\pm$ 10,75*	81,67 $\pm$ 7,91

Zgodnie z oczekiwaniami wyniki uzyskane w wysiłkowym teście o wzrastającej intensywności różnicują badane grupy mężczyzn (Tab. 4). Mężczyźni biegający ultramaratony uzyskali statystycznie wyższe wartości prędkości maksymalnej,

a różnica ta wyniosła około 20%. Maksymalna wentylacja minutowa płuc oraz maksymalny pobór tlenu w wartościach bezwzględnych oraz w odniesieniu do masy ciała była istotnie wyższa u mężczyzn biegających ultramaratony. W grupie tej zarejestrowano również istotnie wyższe wartości tętna maksymalnego natomiast maksymalne ciśnienie rozkurczowe było istotnie niższe. Średnie wartości RQ oraz maksymalne ciśnienie skurczowe w obydwu grupach było takie samo.

**Tab. 4** Średnie wartości wskaźników uzyskanych w teście wysiłkowym

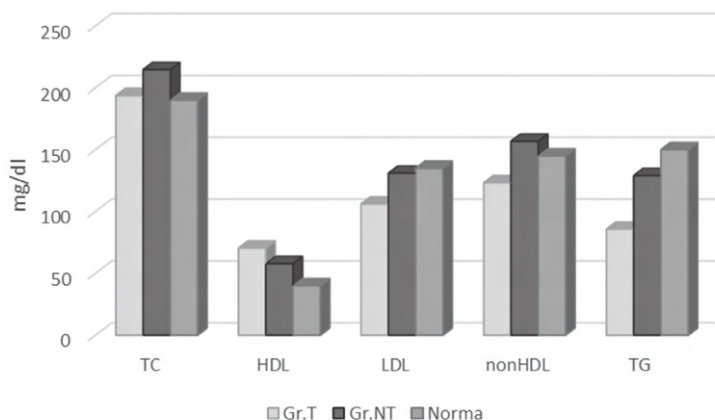
Zmienna	Gr T	Gr NT
V max [km/h]	16,38±1,29*	13,30±1,89
VO <sub>2</sub> max [l/min]	4,41±0,44*	3,78±0,74
VO <sub>2</sub> max/kg [ml/kg/min]	60,17±6,25*	42,80±11,08
VE max [l/min]	149,29±17,45*	133,37±26,82
RQ max wys	1,08±0,05	1,09±0,05
HR max [bpm]	178,21±10,61*	195,50±13,24
SBP max [mmHg]	180,36±19,19	180,00±21,08
DBP max [mmHg]	68,04±10,92*	82,00±9,19

W tabeli 5 przedstawiono średnie wartości profilu lipidowego badanych grup mężczyzn. Zanotowano istotne statystycznie różnice we wszystkich analizowanych parametrach. Ultramaratończycy mieli istotnie niższe wartości cholesterolu całkowitego (TC), cholesterolu frakcji LDL, cholesterolu non-HDL oraz trójglicerydów (TG), natomiast wyższą wartość cholesterolu frakcji HDL.

**Tab. 5** Średnie wartości parametrów profilu lipidowego badanych mężczyzn

Zmienna	Gr T	Gr NT
TC [mg/dl]	193,75±29,87*	214,70±25,45
HDL [mg/dl]	70,46±16,36*	57,90±9,29
LDL [mg/dl]	106,13±28,09*	131,00±22,97
non-HDL [mg/dl]	123,29±32,80*	156,80±27,39
TG [mg/dl]	85,75±32,72*	129,02±41,51

Uzyskane przez obydwie grupy mężczyzn wartości wskaźników profilu lipidowego mieściły się w granicach norm ustalonych przez Polskie Forum Profilaktyki (Ryc. 1). Mężczyźni z grupy NT charakteryzowali się natomiast podwyższoną wartością TC. Pozostałe wskaźniki nie przekraczają zalecanych norm. Zwraca uwagę niski poziom TG oraz wysoki poziom HDL u biegaczy ultramaratonów.



**Ryc. 1** Porównanie profilu lipidowego badanych mężczyzn z normami.

#### 4. Dyskusja

W badaniach wzięli udział mężczyźni w wieku około 40 lat. W tym wieku biegacze ultra uzyskują najlepsze rezultaty na najdłuższych dystansach. Badania wskazują, że doświadczenie oraz wytrzymałość fizyczna, które często rozwijają się w tym przedziale wiekowym, przyczyniają się do osiągnięcia lepszych wyników w długodystansowych biegach. Na podstawie analiz wyników w imprezach biegowych, stwierdzono, że średni wiek dziesięciu najszybszych biegaczy wyniósł  $39,2 \pm 6,2$  lat [Rüstl i wsp. 2013].

Biegacze długodystansowi w tym ultramaratończycy to osoby charakteryzujące się szczupłą sylwetką, wysokimi wskaźnikami wentylacyjnymi, niskim tętnem, ciśnieniem tętniczym oraz prawidłowym profilem lipidowym. Trening biegowy, zwłaszcza długodystansowy, poprawia wydolność tlenową, wytrzymałość i wydajność układu sercowo-naczyniowego. Wysiłek fizyczny, a w szczególności wytrzymałościowy, który najczęściej oparty jest o najprostszy środek treningowy jakim jest bieganie, powoduje zmiany adaptacyjne organizmu. Bieganie minimum 3 godziny tygodniowo przez kilka miesięcy prowadzi do korzystnych zmian w budowie serca, a te najbardziej są widoczne u maratończyków i ultramaratończyków pokonujących dziesiątki kilometrów w tygodniu [Richter i wsp. 2021].

Osoby regularnie uprawiające sport a tym bardziej dyscypliny skrajnie wyczerpujące fizycznie różnią się od swoich rówieśników pod względem ogólnego stanu zdrowia. Pierwsze przedstawione w badaniach własnych wskaźniki dotyczą składu ciała. Nadwaga i otyłość są jednym z czynników śmiertelności. Raport Światowej Organizacji Zdrowia z 2016 roku przedstawia problem pisząc o epidemii, przez którą w 2017 roku zmarło ponad 4 milionów ludzi na całym Świecie [WHO 2021]. Bieganie jest jedną z rekomendowanych form zapobiegania otyłości. Przyjmuje się, że osoby biegające i stosujące zbilansowaną dietę nie przekraczającą potrzeb powinny stracić co najmniej 10% [Lin i Li 2021]. Niestety ponad połowa polskiej

populacji nie uprawia sportu [Commission European 2018]. Problem z nadwagą (BMI = 25 do 30) ma już trzech na pięciu dorosłych Polaków, a co czwarty jest otyły (BMI  $\geq$  30). Narodowy Fundusz Zdrowia (NFZ) szacuje, że odsetek otyłych w roku 2028 wzrośnie do 30%. Otyłość jest powodowana wieloma czynnikami, takimi jak: genetyka [Locke i wsp. 2015], czynniki środowiskowe [Kelishadi i wsp. 2013, Heindel i wsp. 2015], tradycje żywieniowe w rodzinie [Van Der Sande i wsp. 2001, Zhao i wsp. 2021], jakość spożywanych pokarmów [Chen i Wang 2021, Coleman i Fulford 2022] i styl życia.

W przeprowadzonych badaniach własnych wykazano istotne różnice wskaźników antropologicznych między porównywanymi grupami mężczyzn ( $p < 0,05$ ). Wyniki badań antropometrycznych w grupie T (BMI =  $23,6 \pm 2,35$ ) mieściły się w zakresie wielkości prawidłowych, przyjmowane w klasyfikacji The American College of Sport Medicine (ACSM), jako świadczące o dobrym stanie zdrowia, natomiast wyniki w grupie NT (BMI =  $28,3 \pm 5,84$ ) wskazują na zwiększone ryzyko zachorowania na cukrzycę i choroby sercowo-naczyniowe [Ofstad i wsp. 2019, Ostadal i wsp. 2022, Yang i wsp. 2023].

W badaniach własnych wykazano istotne różnice między grupami w tkance tłuszczowej (FAT), które było mniejsze w grupie T ( $FAT\Delta = 8,83\%$ ;  $p < 0,001$ ), natomiast w beztłuszczowej masie ciała (FFM) nie zaobserwowano istotnych różnic. Wartość FFM była w obu grupach podobna do grupy aktywnie fizycznie mężczyzn służących w piechocie morskiej USA Potter, Adam W. Tharion, William J., The normal relationship between fat and lean mass for mature (21-30 year old) physically fit men and women, [2024].

Wiele badań potwierdza, że nadzorowana interwencja ruchowa lub samodzielna regularna aktywność fizyczna powoduje znaczną redukcję masy ciała i tkanki tłuszczowej, a także zwiększa beztłuszczową masę ciała u osób z nadwagą i otyłych [Zouhal i wsp. 2020]. Dobrze udokumentowana jest teza, że ćwiczenia wytrzymałościowe w tym bieganie długich dystansów najefektywniej poprawiają wskaźniki antropometryczne [Donnelly i wsp. 2013, Zouhal i wsp. 2020, Liu i wsp. 2023] w różnych grupach wiekowych (młodzież, dorośli i osoby starsze), prowadząc do redukcji nadmiernej masy ciała, wskaźnika masy ciała (BMI), tkanki tłuszczowej i zwiększenia beztłuszczowej masy ciała, głównie masy mięśniowej.

Wysoka intensywność sportowa powoduje zwiększenie wentylacji (VE), całkowitego zużycia tlenu ( $VO_{2max}$ ) oraz współczynnika oddechowego (RQ), ponieważ zapotrzebowanie na tlen w pracujących mięśniach jest zwiększone. Wzrost zapotrzebowania na tlen spowodowany jest tym, że cała energia w postaci ATP zużywana podczas ćwiczeń wytrzymałościowych jest ponownie syntetyzowana w mitochondriach przez metabolizm oksydacyjny [Coyle 1999].

U osób nietrenujących tempo spadku  $VO_{2max}$  w odniesieniu do wieku jest znacznie szybsze niż u osób systematycznie trenujących. Średni spadek  $VO_{2max}$  u biegaczy kontynuujących trening wytrzymałościowy wynosi 5-6% na dekadę,

natomiast u zawodników, którzy zaprzestają treningów, uzyskują spadek około 15% na dekadę [Żołądź i wsp. 2019]. W literaturze przyjmuje się średnie wartości spadku  $VO_{2max}$  w procesie starzenia się organizmu około 10% na dekadę [Going i wsp. 1995, Sugawara i wsp. 2002]. Badania mężczyzn w średnim wieku 57,7 lat wykazały, że systematyczne ćwiczenia fizyczne o umiarkowanej intensywności zwiększają średnią długość życia, głównie dzięki redukcji zgonów z przyczyn sercowo-naczyniowych [McArdle i wsp. 2023a]. W porównywanych grupach w badaniu własnym zaobserwowano istotne różnice poziomu wydolności, które zaprezentowano następującymi wskaźnikami  $VO_{2max}$  (w wartościach względnych  $\Delta = 0,63$  ml/kg/min oraz bezwzględnych  $\Delta = 17,37$  l/min. Według oceny  $VO_{2max}$  w zależności od wieku mężczyzn [Powers i Howley 2009] grupa T uplasowała się na poziomie najwyższym a grupa NT przeciętnym.

Odnotowano również istotne różnice w maksymalnej wentylacji minutowej ( $VE_{max}$ )  $\Delta = 15,92$  l/min. Badani wykonali test maksymalny o czym świadczy podobny w obu grupach wynik współczynnika oddechowego w grupie T ( $RQ = 1,08 \pm 0,05$ ) i NT ( $RQ = 1,09 \pm 0,05$ ).

Grupy istotnie różniły się w maksymalnym tętnie  $HR_{max}$   $\Delta = 17,29$  bpm, gdzie wyższe wartości uzyskiwali mężczyźni nietreningujący. HR jest ogólną cechą układu sercowo-naczyniowego u biegaczy ultramaratońskich, którzy podczas zawodów nie podejmują wysiłków ponadprogowych stąd ich wyniki maksymalne są istotnie niższe od grupy NT. Nieco niższe wyniki co w grupie T ( $HR_{max} = 178,2 \pm 10,61$  bpm) uzyskiwali autorzy innych badań. W badaniach Cataldo i wsp. [2018], które przeprowadzono na grupie 10 mężczyzn w wieku od 40 do 60 lat (średnia wieku  $52,1 \pm 6,4$  lat), mistrzów w swoich kategoriach wiekowych, uprawiających dyscypliny wytrzymałościowe, wyniki  $HR_{max}$  osiągały średnio wartość  $156,6 \pm 9,8$  bpm. Zawodnicy, podobnie jak w badaniach własnych byli długoletnimi sportowcami uprawiającymi sporty wytrzymałościowe, trenującymi od 20 lat [Cataldo i wsp. 2018]. W badaniach Freire i wsp. [2017], dwudziestu zdrowych mężczyzn, nie przyjmujących żadnych leków, które mogłyby mieć wpływ na częstość skurczów serca, w średnim wieku  $68,4 \pm 1,2$  lat, prezentowało  $HR_{sp.} 60 \pm 4$  bpm, natomiast w teście progresywnym uzyskało  $HR_{max} 159 \pm 4$  bpm [Freire i wsp. 2017]. Najbardziej zbliżone wyniki do badań własnych zaobserwowano w pracy Allen i wsp. [1985], opisującej elitarnych sportowców kategorii masters w wieku  $56 \pm 5$  lat, którzy osiągnęli  $HR_{max} 172 \pm 15$  bpm. Zbliżone wyniki, co w badaniach własnych znajdują się w pracy Pugliese i wsp. [2018], w której przeanalizowano 34 trenujących biegi mężczyzn w wieku  $47,2 \pm 7,4$  lat, ze stażem treningowym  $15 \pm 4$  lat. W maksymalnym teście wysiłkowym osiągnęli oni  $HR_{max}$  w przedziale  $170-175 \pm 9-13$  bpm. Trening fizyczny przynosi podobne efekty fizjologiczne niezależnie od wieku, dlatego na poprawę sprawności układu krążeniowo-oddechowego zawsze jest dobry moment [Dill i wsp. 1967].

Kolejnym analizowanym wskaźnikiem układu krążenia było ciśnienie tętnicze, które jest dla mężczyzn ważnym wskaźnikiem stanu zdrowia. Nadciśnienie tętnicze jest jednym z najistotniejszych czynników ryzyka chorób układu krążenia, takich jak niewydolność serca, choroba niedokrwienna serca czy udar mózgu [Tykarski i wsp. 2019]. Za częstą przyczynę zwiększającą ryzyko rozwoju nadciśnienia tętniczego krwi podaje się nadwagę i otyłość, ale przy zastosowaniu redukcji masy ciała u osób z nadwagą można znacznie obniżyć wartości ciśnienia tętniczego krwi [Genovesi i wsp. 2010]. W badaniach własnych mimo nadwagi w grupie NT nie zaobserwowano nieprawidłowości w ciśnieniu skurczowym i rozkurczowym w obu grupach. Na uwagę zasługuje istotnie niższe spoczynkowe ciśnienie rozkurczowe w grupie T ( $DPB\Delta = 8,21$  mmHg), co świadczy o hipotensyjnym wpływie treningu. Jako główne mechanizmy fizjologiczne redukcji ciśnienia tętniczego po treningu fizycznym wymienia się: zmniejszenie aktywności układu współczulnego, poprawę funkcji śródbłonna poprzez zwiększenie biodostępności tlenu azotu oraz zwiększone stężenie prostacykliny w efekcie zmniejszenia obwodowego oporu naczyniowego, redukcję nadwagi, w tym głównie tkanki tłuszczowej wisceralnej i zwiększoną wrażliwość na insulinę.

Korzystne efekty w normalizacji ciśnienia tętniczego uzyskują osoby podejmujące systematyczną aktywność fizyczną. Potwierdziła to metaanaliza, z której wynika, że praktykowanie treningu fizycznego, niezależnie od rodzaju treningu (ćwiczenia wydolnościowe, siłowe, izometryczne czy oddechowe) wiązało się z redukcją BP [Rodrigues i wsp. 2022].

Ważna w zachowaniu dobrego stanu zdrowia jest kontrola profilu lipidowego. W Polsce jest ponad 20 milionów osób z hipercholesterolemią, dotyczącą zwiększenia stężenia we krwi zarówno całkowitego cholesterolu, jak i lipoprotein o małej gęstości. Większość osób nie zdaje sobie z tego schorzenia sprawy [Ling i wsp. 2021]. Prognozuje się, że osób z rodzinną hipercholesterolemią, która uwarunkowana jest genetycznie jest 140 tysięcy, natomiast dotychczas zdiagnozowano ją zaledwie u około 5% [Dyrbus i wsp. 2019]. Aktywność fizyczna poprawia parametry lipidowe jako jedno z najlepiej zauważalnych efektów zdrowego aktywnego stylu życia [Barone Gibbs i wsp. 2021].

Systematyczna aktywność fizyczna korzystnie modyfikuje profil lipidowy i prowadzi do redukcji stężenia cholesterolu całkowitego (TC), lipoprotein o małej gęstości (LDL) i trójglicerydów (TG) oraz do zwiększenia cholesterolu lipoprotein o dużej gęstości (HDL) [Banach i wsp. 2021]. W badaniach własnych zaobserwowano istotne różnice pomiędzy grupami we wszystkich wskaźnikach związanych z poszczególnymi frakcjami lipidów. Grupa T osiągała wszystkie wyniki w normie, a w grupie NT zaledwie LDL było lekko ponad zalecany poziomem biochemicznym dyslipidemii u dorosłych [Berberich i Hegele 2022].

Podsumowując, trening biegowy ultramaratończyków prowadzi do licznych adaptacji fizjologicznych, antropometrycznych, wydolnościowych czy

metabolicznych. Mimo, iż trening ten wiąże się z ryzykiem urazów, można przyjąć, że korzyści zdrowotne przewyższają potencjalne zagrożenia. W porównaniu do osób nieaktywnych, ultramaratończycy cieszą się niższą zawartością tkanki tłuszczowej, niższymi wartościami tętna i ciśnienia tętniczego w spoczynku, wyższym maksymalnym poborem tlenu, prawidłowym poziomem parametrów profilu lipidowego, co podkreśla znaczenie regularnej aktywności fizycznej w życiu człowieka.

Wydolność fizyczna u biegaczy długodystansowych jest wynikiem złożonej interakcji między aspektami fizjologicznymi, psychologicznymi i treningowymi. Zrozumienie tych elementów oraz prawidłowe planowanie treningu mogą znacząco wpłynąć na osiągnięte wyniki oraz zdrowie biegaczy. W czasach rosnącej popularności biegów długodystansowych, w tym ultramaratonów, dalsze badania w tym obszarze mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia reakcji wysiłkowych oraz sposobów ich poprawy.

### Piśmiennictwo

- [1] ACSM The American College of Sport Medicine. [www.acsm.org](http://www.acsm.org).
- [2] Allen W.K., Seals D.R., Hurley B.F., Ehsani A.A., Hagberg J.M. *Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes*. Journal of applied physiology. 1985, 58(4):1281-1284. DOI: 10.1152/jappl.1985.58.4.1281
- [3] Banach M., Burchardt P. i in. *Wytyczne PTL/KLRWP/PTK/PTDL/PTD/PTNT. Diagnostyki i Leczenia Zaburzeń Lipidowych W Polsce 2021*. Nadciśnienie Tętnicze w Praktyce. 2021, 7(3):1-3.
- [4] Barone Gibbs B. i in. *Physical Activity as a Critical Component of First-Line Treatment for Elevated Blood Pressure or Cholesterol: Who, What, and How?: A Scientific Statement From the American Heart Association*. Hypertension. 2021, 78(2):26-37. DOI: 10.1161/HYP.000000000000196.
- [5] Bassett Jr D.R., Howley E.T. *Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance*. Med Sci Sports Exerc. 2000, 32(1):70-84. DOI: 10.1097/00005768-200001000-00012.
- [6] Berberich A.J., Hegele R.A. *A Modern Approach to Dyslipidemia*. Endocrine reviews. 2000, 43(4):611-653. DOI: 10.1210/endrev/bnab037
- [7] Brace A.W., George K., Lovell G.P. *Mental toughness and self-efficacy of elite ultra-marathon runners*. PLoS One. 2020, 4/15(11). DOI: 10.1371/journal.pone.0241284
- [8] Brito L.C., Peçanha T., Fecchio R.Y. i in. *Morning versus evening aerobic training effects on blood pressure in treated hypertension*. Med Sci Sports Exerc. 2019, 51(4):653-662. DOI:10.1249/MSS.0000000000001852
- [9] Caselli S., Di Paolo F.M., Pisicchio C., Pandian N.G., Pelliccia A. *Patterns of left ventricular diastolic function in Olympic athletes*. J Am Soc Echocardiogr. 2015, 28(2):236-44. DOI: 10.1016/j.echo.2014.09.013
- [10] Cataldo A., Bianco A., Paoli A., Cerasola D., Alagna S., Messina G., Zangla D., Traina M.. *Resting sympatho-vagal balance is related to 10 km running performance in master endurance athletes*. European Journal of Translational Myology. 2018, 28(1):7051. DOI: 10.4081/ejtm.2018.7051

- [11] Chen S., Wang L. *SNAP participation, diet quality, and obesity: robust evidence with estimation techniques without external instrumental variables*. Empirical Economics. 2021, 61(3):1641-1667. DOI: 10.1007/s00181-020-01902-7
- [12] Coleman R.A., Fulford M.D. *Socioeconomic Status and Individual Personal Responsibility Beliefs Towards Food Access*. Food Ethics. 2022, 7(1):1. DOI: 10.1007/s41055-021-00096-7
- [13] Cornelissen V.A., Smart N.A. *Exercise training for blood pressure: a systematic review and meta-analysis*. J Am Heart Assoc. 2013, 2(1).
- [14] Coyle E.F. *Physiological determinants of endurance exercise performance*. Journal of science and medicine in sport. 1999, 2(3):181-189. DOI: 10.1016/s1440-2440(99)80172-8
- [15] Denadai B.S., Greco C.G. *Could middle- and long-distance running performance of well-trained athletes be best predicted by the same aerobic parameters?* Curr Res Physiol. 2022, 23/5:265-269. DOI: 10.1016/j.crphys.2022.06.006
- [16] Dill D.B., Robinson S., Ross J.C. *A longitudinal study of 16 champion runners*. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. 1967, 7(1):4-27.
- [17] Doewes R.I., Gharibian G., Zaman B.A., Akhavan-Sigari R. *An updated systematic review on the effects of aerobic exercise on human blood lipid profile*. Curr. Probl. Cardiol. 2023, 48:101108. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2022.101108
- [18] Donnelly J.E. i in. *Aerobic exercise alone results in clinically significant weight loss for men and women: Midwest exercise trial 2*. Obesity. 2013, 21(3):219-228. DOI: 10.1002/oby.20145
- [19] Duz S., Kinaci A.E., Ozdurak H., Tozoğlu B. *Motivational Factors for Running an Ultramarathon as a Recreational Activity*. Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi. 2024, 7(4). DOI: 10.38021/asbid.1555510
- [20] Dyrbuš K. i in. *The prevalence and management of familial hypercholesterolemia in patients with acute coronary syndrome in the Polish tertiary centre: Results from the TERCET registry with 19,781 individuals*. Atherosclerosis. 2019, 288:33-41. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis
- [21] Enqvist J.K., Mattsson C.M., Johansson P.H., Brink-Elfegoun T., Bakkman L., Ekblom B.T. *Energy turnover during 24 hours and 6 days of adventure racing*. J Sports Sci. 2010, 28(9):947-55. DOI: 10.1080/02640411003734069
- [22] Fallon K.E. *Musculoskeletal injuries in the ultramarathon: the 1990 Westfield Sydney to Melbourne run*. Br J Sports Med. 1996, 30(4):319-23. DOI: 10.1136/bjism.30.4.319
- [23] Fletcher G. F. i in. *Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association*. Circulation. 2013, 128(8):873-934.
- [24] Freire R. i in. *Locomotion Mode Affects the Physiological Strain during Exercise at Walk-Run Transition Speed in Elderly Men*. International Journal of Sports Medicine. 2017, 38(7):515-520. DOI: 10.1055/s-0043-101913
- [25] Genovesi S., Antolini L., Giussani M., Brambilla P., Barbieri V., Galbiati S., Mastriani S., Sala V., Valsecchi M.G., Stella A.. *Hypertension, prehypertension, and transient elevated blood pressure in children: Association with weight excess and waist circumference*. American Journal of Hypertension. 2010, 23(7):756-761. DOI: 10.1038/ajh.2010.50

- [26] Gimenez P., Kerhervé H., Messonnier L.A., Féasson L., Millet G.J. *Changes in the energy cost of running during a 24-h treadmill exercise*. Med Sci Sports Exerc. 2013, 45(9):1807-1813. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318292c0ec
- [27] Glace B., Murphy C., Mchugh M. *Food and fluid intake and disturbances in gastrointestinal and mental function during an ultramarathon*. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2002, 12(4):414-27. DOI: 10.1123/ijsnem.12.4.414
- [28] Going S., Williams D., Lohman T. *Aging and body composition: biological changes and methodological issues*. Exercise and sport sciences reviews. 1995, 23:411-58.
- [29] Heindel J.J., Newbold R., Schug T.T. *Endocrine disruptors and obesity*. Nature Reviews Endocrinology. 2015, 11(11):653-661. DOI: 10.1038/nrendo.2015.163
- [30] <https://www.biegamy.pl/bieganie/5-najwiekszych-ultramaronow-w-polsce> (dostęp 24.01.2025).
- [31] Joyner M.J., Coyle E.F. *Endurance exercise performance: the physiology of champions*. J Physiol. 2008, 27/586:35-44. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.143834
- [32] Kelishadi R., Poursafa P., Jamshidi F. *Role of environmental chemicals in obesity: A systematic review on the current evidence*. Journal of Environmental and Public Health. 2013, DOI: 10.1155/2013/896789
- [33] Kelley G.A., Kelley K.S. *Aerobic exercise and lipids and lipoproteins in men: a meta-analysis of randomized controlled trials*. J Mens Health Gend. 2006, 3(1):6170. DOI: 10.1016/j.jmhg.2005.09.003
- [34] Knechtle B., Nikolaidis P.T. *Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running*. Front Physiol. 2018, 1;9:634. DOI: 10.3389/fphys.2018.00634
- [35] Lavie C.J., Lee D.C., Sui X., Arena R., O'keefe J.H., Church T.S., Milani R.V., Blair S.N. *Effects of running on chronic diseases and cardiovascular and all-cause mortality*. Mayo Clin. Proc. 2015, 90:1541-1552. DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.08.001
- [36] Lee D.C., Pate R.R., Lavie C.J., Sui X., Church T.S., Blair S.N. *Leisure-time running reduces all-cause and cardiovascular mortality risk*. J Am Coll Cardiol. 2014, 64:472-481. DOI: 10.1016/j.jacc.2014.04.058
- [37] Lin X., Li H. *Obesity: Epidemiology, Pathophysiology, and Therapeutics*. Frontiers in Endocrinology. Frontiers. 2021, Media S.A. DOI: 10.3389/fendo.2021.706978
- [38] Ling J.Z.J. i in. *Therapeutic inertia in the management of dyslipidaemia and hypertension in incident type 2 diabetes and the resulting risk factor burden: Real-world evidence from primary care*. Diabetes, Obesity & Metabolism. 2021, 23(7):1518-1531. DOI: 10.1111/dom.14364
- [39] Liu X., He M., Gan X., Yang Y., Hou Q., Hu R. *The effects of six weeks of fasted aerobic exercise on body shape and blood biochemical index in overweight and obese young adult males*. Journal of Exercise Science & Fitness. 2023, 21(1):95-103. DOI: 10.1016/j.jesf.2022.11.003
- [40] Locke A.E. i in. *Genetic studies of body mass index yield new insights for obesity biology*. Nature. 2015, 518(7538):197-206. DOI: 10.1038/nature14177
- [41] Macfarlane D.J., Wong P. *Validity, reliability and stability of the portable Cortex Metamax 3B gas analysis system*. Eur J Appl Physiol. 2011, 11;112(7):2539-2547. DOI: 10.1007/s00421-011-2230-7

- [42] Małek Ł.A., Czajkowska A., Mróz A., Witek K., Nowicki D., Postuła M. *Factors related to cardiac troponin T increase after participation in a 100 km ultra-marathon*. *Diagnostics* (Basel). 2020, 10:167. DOI: 10.3390/diagnostics10030167
- [43] McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L. *Physical activity, health, and aging*. W: McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L. (red.), *Exercise Physiology. Nutrition, Energy and Human Performance*. ninth edit. 2023. Wolters Kluwer.
- [44] Mora S., Cook N., Buring J.E., Ridker P.M., Lee I.M. *Physical activity and reduced risk of cardiovascular events: potential mediating mechanisms*. *Circulation*. 2007, 6/116(19):2110-8. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.729939.
- [45] Ofstad A.P., Sommer C., Birkeland K.I., Bjørgeas M.R., Gran J.M., Gulseth H.L., Johansen O.E. *Comparison of the associations between non-traditional and traditional indices of adiposity and cardiovascular mortality: an observational study of one million person-years of follow-up*. *International journal of obesity* 2019, 43(5):1082-1092. DOI: 10.1038/s41366-019-0353-9
- [46] Ostadal P. i in. *Metabolic risk factors and effect of alirocumab on cardiovascular events after acute coronary syndrome: a post-hoc analysis of the ODYSSEY OUTCOMES randomised controlled trial*. *The Lancet. Diabetes & Endocrinology*, 2022, 10(5), pp. 330-340. DOI: 10.1016/S2213-8587(22)00043-2
- [47] Porszasz J., Casaburi R., Somfay A., Woodhouse L.J., Whipp B.J. *A treadmill ramp protocol using simultaneous changes in speed and grade*. *Med Sci Sports Exerc*. 2003, 35(9):1596-1603.
- [48] Powers S.K., Howley E.T. *Exercise Physiology. Theory and Application to Fitness and Performance*. 2009, New Zealand: McGraw-Hill Higher Education.
- [49] Pugliese L., Porcelli S., Vezzoli A., la Torre A., Serpiello F.R., Pavei G., Marzorati M. *Different Training Modalities Improve Energy Cost and Performance in Master Runners*. *Frontiers in physiology*. 2018, 9:21. DOI: 10.3389/fphys.2018.00021
- [50] Richter E.A., Sylow L., Hargreaves M. *Interactions between insulin and exercise*. *The Biochemical journal*. 2021, 478(21):3827-3846. DOI: 10.1042/BCJ20210185
- [51] Rodrigues G.D. i in. *Are home-based exercises effective to reduce blood pressure in hypertensive adults? A systematic review*. *Clinical Hypertension*. 2022, 28(1):1-12. DOI: 10.1186/s40885-022-00211-8
- [52] Rüst C.A., Knechtlei B., Rosemanni T., Lepers R. *Analysis of performance and age of the fastest 100-mile ultra-marathoners worldwide*. *Clinical Science*. 2013, (05)05. DOI: 10.6061/clinics/
- [53] Sugawara J., Miyachi M., Moreau K.L., Dinunno F.A., DeSouza C.A., Tanaka H. *Age-related reductions in appendicular skeletal muscle mass: Association with habitual aerobic exercise status*. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 2002, 22(3):169-172. DOI: 10.1046/j.1475-097X.2002.00413.x
- [54] Tykarski A., Filipiak K.J., Januszewicz A., Litwin M., Narkiewicz K., Prejbisz A., Ostalska-Nowicka D., Widecka K., Kostka-Jeziorny K. *Zasady postępowania w nadciśnieniu tętniczym - 2019 rok*. *Nadciśnienie Tętnicze w Praktyce*. 2019, 5(1):1-86.
- [55] Van Der Sande M.A.B., Walraven G.E., Milligan P.J., Banya W.A., Ceessay S.M., Nyan O.A., McAdam K.P. *Family history: An opportunity for early interventions and improved control of hypertension, obesity and diabetes*. *Bulletin of the World Health Organization*. rok, 79(4):321-328.

- [56] WHO *Obesity and overweight*. 2021 [www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight).
- [57] Yang M., Zhang Y., Zhao W., Ge M., Sun X., Zhang G., Dong B. *Individual and combined associations of body mass index and waist circumference with components of metabolic syndrome among multiethnic middle-aged and older adults: A cross-sectional study*. *Frontiers in endocrinology*. 2023, 14:1078331. DOI: 10.3389/fendo.2023.1078331
- [58] Zhao W., Mo L., Pang Y. *Hypertension in adolescents: The role of obesity and family history*. *Journal of clinical hypertension*. 2021, 23(12):2065-2070. DOI: 10.1111/jch.14381
- [59] Zouhal H. i in. *Effects of physical training on anthropometrics, physical and physiological capacities in individuals with obesity*. *Obesity Reviews*, 2020, 21(9). DOI: 10.1111/obr.13039
- [60] Żołądź J.A., Majerczak J., Duda K. *Starzenie się a wydolność fizyczna człowieka*. W: Górski J. (red) *Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego*. Warszawa: PZWL, Wydawnictwo Lekarskie. 2019.

## **Stabilność posturalna w okresie startowym zawodników uprawiających zapasy**

### **Postural stability during the starting period of wrestling athletes**

**T. POLISZCZUK, W. CZAJKA**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Sportów Indywidualnych  
e-mail: tatiana.poliszczuk@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: równowaga statyczna, sporty walki, posturografia*

#### **1. Wstęp**

Problem stabilności posturalnej i zdolności utrzymywania równowagi ciała jest przedmiotem wielu badań ze względu na coraz większe zapotrzebowanie na wiedzę o zakłóceniach stabilności i równowagi ciała oraz strategii stosowania działań naprawczych.

Stabilność ciała to odporność na wyprowadzenie ciała ze stanu równowagi. Pojęcie stabilności nieodłącznie odnosi się do zdolności ciała do zachowania równowagi, czyli odporności na utratę stanu równowagi [Grimshawa i wsp. 2010].

Równowaga ciała jest zdolnością motoryczną i oznacza stan, w którym suma sił działających na ciało i ich momentów wynosi 0 [Juras 2003, Pyskir i wsp. 2004]. Zmysł równowagi jest wrażliwy na wiele bodźców zewnętrznych i wewnętrznych, do których zaliczają się, m.in. stres, temperatura ciała, zmęczenie, związki chemiczne trawione przez organizm-używki [Błach i wsp. 2005].

Charakterystyczną dla sylwetki ludzkiej jest pionowa postawa ciała o stosunkowo małej powierzchni podparcia. Z tego to powodu ulega ona częstym wychwianiom ze względu na wielosegmentową budowę ciała oraz swoje wymiary: wysokość i masę ciała [Błaszczuk i Klonowski 2001].

Stabilność posturalna odgrywa szczególną rolę wśród sportowców niemalże każdej dyscypliny, a zwłaszcza zawodników trenujących zapasy, których specyfika polega na wytrąceniu przeciwnika z równowagi i dzięki temu zdobyciu nad nim przewagi. Liczne podcięcia, uniki, elementy mocowania, stosowanie różnych chwytów taktycznych powodują utratę poczucia stabilności na podłożu i ważne jest jak najszybsze odzyskanie stabilności posturalnej, by nie ulec sile przeciwnika. Zdolność zachowania równowagi to umiejętność stabilizowania swojego ciała w pozycji zrównoważonej, w pozycji statycznej i w ruchu oraz balansowania na ruchomym podłożu. W celu usprawniania umiejętności utrzymania równowagi zalecane są różnorodne ćwiczenia, których stosowanie przynosi znaczące i rzeczywiste efekty [Pyda-Dulewicz 2017]. Należą do nich różnorodne ćwiczenia na równoważni, ławeczce i przyborach sportowych wykonywane samodzielnie lub

z współwiczającym, jak również gry i zabawy zespołowe z elementami mocowania, wypychania oraz przeciągania.

Zapasy są dyscypliną sportową, w której zawodnicy w bezpośredniej walce bez użycia żadnego sprzętu starają się osiągnąć zwycięstwo poprzez stosowanie działań ofensywnych, defensywnych lub kontratakujących [Pytłasiński 2020]. Stosowane techniki walki mają na celu zachwiać równowagę statyczną i dynamiczną przeciwnika, co jest drogą uzyskania nad nim przewagi.

W tej dziedzinie sportowej znajdują zastosowanie różnorodne elementy treningu mające na celu doskonalenie umiejętności utrzymania równowagi oraz zachowania stabilności posturalnej. Obydwie te cechy położenia ciała pozwalają sportowcom osiągnąć oczekiwane wyniki sportowe. Zapaśnicy przyjmując niskie pozycje z pochylonymi ramionami i ugiętymi kończynami dolnymi wpływają na zwiększenie stabilności swojego ciała w celu odparcia ataku rywala. Błyskawiczne reagowanie na ataki przeciwnika i także samo układanie strategii kontrataku wymaga sprawnego funkcjonowania trzech współpracujących ze sobą narządów zmysłów: układu przedsionkowego, narządu wzroku oraz proprioceptorów [Błaszczuk 2004].

Istnieje wiele publikacji dotyczących badań na temat zdolności utrzymania równowagi i stabilności posturalnej, jednak niewiele z nich dotyczy tej dziedziny sportu, jaką są zapasy oraz inne sporty walki [Sterkowicz i wsp. 2012]. Zapasy to jedna ze sztuk walki, której istota polega na zmaganiach dwóch zawodników stosujących chwyt i rzuty mające na celu obezwładnienie lub pokonanie przeciwnika.

Stabilność posturalna nieodłącznie wiąże się z pojęciem równowagi, która należy do kluczowych cech motorycznych człowieka [Malzer i wsp. 2001]. Stabilność ciała to zdolność pozostawiania ciała w równowadze, czyli odporność na utratę stanu równowagi z powodu zakłóceń wynikających ze zmienności środowiska, jak też interakcji organizmu z otoczeniem.

Sylwetka człowieka składa się z wielu segmentów, które łatwo ulegają zakłóceniom równowagi ciała [Błaszczuk i Klonowski 2001]. Dzięki czujności układu nerwowego, w zależności od zmiennych warunków otoczenia następuje nieprzerwana kontrola przemieszczania się środka ciężkości ciała (COM-center of mass) w różnych płaszczyznach: przednio-tylnej (strzałkowej) oraz bocznej (czołowej) [Gołąb, 2004]. Przemieszczenia w płaszczyźnie strzałkowej odbywają się w kierunku od przodu do tyłu i w praktyce znajdują zastosowanie podczas wykonywania skłonów i wychyleń ciała do tyłu. Przemieszczenia w płaszczyźnie bocznej, czyli wzdłuż czołowej osi ciała odgrywają ważną rolę w utrzymaniu równowagi podczas poruszania się po terenie nierównym lub odzyskiwaniu równowagi podczas nieoczekiwanego potknięcia, czy też przechylenia [Skalska i wsp. 2003]. Przemieszczenia COM w tych dwóch płaszczyznach są kluczowe dla utrzymania stabilności posturalnej. Poprzez odpowiednie kontrolowanie tych ruchów, organizm jest w stanie reagować na zmieniające się warunki i zachować równowagę, zapobiegając upadkom [Lord i wsp. 2003].

Stabilność posturalna zależy od powierzchni podstawy ciała. Większe pole powierzchni podparcia rzutuje na bardziej stabilną postawę o czym można się przekonać wykonując test stania na jednej nodze. Przy małej powierzchni podparcia podczas przyjmowania pozycji wyprostnej ciało człowieka narażone jest na różnego rodzaju wychylenia i na utratę równowagi. Dzięki uzyskanym informacjom, m.in. z układu przedsionkowego, ośrodkowego układu nerwowego, narządu wzroku i propriocepcji następuje kontrola postawy ciała. Sterowanie ruchem i postawą odbywa się przy ścisłej współpracy tych mechanizmów.

W sporcie równowaga i stabilność są nieodłącznym elementem współzawodnictwa. Na stabilność ciała ma wpływ jego masa – im większa, tym wyższy poziom stabilności posturalnej, którą trudniej wytrącić ze stanu równowagi [Grimshaw i wsp. 2010]. Na stabilność ma również wpływ wiek, wysokość ciała, siła mięśni, czy również prawidłowa postawa ciała. Mimo osiągnięcia wysokiej sprawności fizycznej przez sportowców, nierealnym jest osiągnięcie maksymalnej granicy stabilności, wyznaczonej przez obrys stóp. Zapaśnik stara się przyjmować pozycję o dużej stabilności, by nie przewrócić się w momencie, gdy przeciwnik użyje wobec niego silnego chwytu albo zastosuje jakiś inny techniczny ruch, np. pchnięcie, unik [Błach, 2006]. Kolejne ewolucje wymagają od zawodników przyjmowania pozycji zarówno stabilnych, jak i niestabilnych, w zależności od wymagań zaistniałej sytuacji. Od tego zależy ostateczny wynik starcia, jak również uniknięcie niepotrzebnych kontuzji oraz urazów [Wiszomirska i wsp. 2017].

Rozróżniamy równowagę statyczną i dynamiczną. Stabilność statyczna dotyczy zdolności utrzymania równowagi w pozycji nieruchomej. Nadrzędnym celem stabilności statycznej jest zachowanie równowagi poprzez utrzymanie środka ciężkości ciała w polu powierzchni podparcia zakreślonego przez stopy, w celu uniknięcia nadmiernego przechylenia, bądź upadku. Organizm wówczas bazuje na informacjach pochodzących od proprioceptorów, które są wrażliwe na reakcję oka, mięśni i stawów towarzyszące różnym czynnościom ruchowym [Juras 2003].

Przy stabilności statycznej aktywność mięśni jest ukierunkowana na utrzymaniu stabilizacji stawów i postawy. Stabilność dynamiczna to zdolność utrzymania równowagi w czasie wykonywanego ruchu. Niezbędna jest podczas wykonywania czynności, polegających na przemieszczaniu się w przestrzeni, jak np. chodzenie, bieganie, taniec, trening sportowy. Stabilność ta wymaga ciągłego uaktualniania danych związanych z otoczeniem, w którym wykonywana jest aktywność [Wiszomirska i wsp. 2017]. W czasie, gdy ciało znajduje się w stanie ruchu i równowagi, organizm kontroluje przemieszczanie się środka ciężkości, poprzez dostosowywanie niezbędnych parametrów, jakimi są m.in. kąt nachylenia ciała, dostosowanie tempa i rytmu kroku.

Trening zapaśniczy wymaga od zawodników precyzji ruchu, koordynacji wzrokowo-ruchowej oraz umiejętności odzyskiwania równowagi zakłóconej przez różnorodne czynniki zewnętrzne, które wynikają z przyjmowania różnych pozycji

obronnych przez zawodnika na skutek ataku rywala lub bezpośredniego reagowania na chwytby stosowane przez przeciwnika.

Rozpatrując sylwetkę człowieka jako obiekt geometryczny można jednoznacznie stwierdzić, iż osoba w postawie zasadniczej jest w stanie zachować równowagę tak długo, jak rzut środka ciężkości ciała pozostaje w obrębie powierzchni podparcia stóp. Zgodnie z powyższym, stabilność postawy zapaśnika może zależeć od właściwych jemu cech fizycznych, takich jak: masa i wysokość jego ciała oraz pole powierzchni podstawy zakreślonej przez stopy [Kostorz i Skorupińska 2017]. Należy pamiętać o tym, że równowaga i stabilność posturalna to zdolności motoryczne, które ulegają ciągłym zmianom podczas trwania ludzkiego życia, a więc w trakcie kariery zapaśniczej dochodzi do ewolucji tych parametrów, na korzyść rozwoju fizycznego zawodników [Kuczyński i wsp. 2012].

Podczas zmagania zapaśników dochodzi do częstych zakłóceń równowagi postawy zawodników poprzez stosowanie technik zapaśniczych skutkujących uzyskaniem przewagi nad rywalem. Zawodnicy podczas starć poruszają się w niskich pozycjach z ugiętymi kończynami dolnymi i pochyloną sylwetką ciała w celu obniżenia środka ciężkości [Olex-Zarychta 2010].

Z reguły na korzyść zawodnika przemawia niższa wysokość jego ciała, która sprzyja stabilności posturalnej oraz zwinność jego ruchów podczas wykonywania uników i dynamicznego przyjmowania pozycji atakujących.

Niebagatelną rolę w utrzymaniu stabilności posturalnej w treningu zawodników zapasów odgrywają układy sensoryczne, informujące o warunkach otoczenia, w jakim znajduje się organizm, o jego stanie oraz sugerujące właściwe zachowania, stosowanie odpowiednich taktyk walki w zależności od zaistniałych sytuacji [Olczak 2016]. W tym wypadku główną rolę odgrywa umiejętność błyskawicznego podejmowania decyzji, co jest możliwe w przypadku współpracy układu sensorycznego z układem nerwowym [Pyskir i wsp. 2004].

Głównym celem badań była ocena stabilności posturalnej w różnych warunkach zawodników i zawodniczek uprawiających zapasy. Celem szczegółowym było określenie współzależności pomiędzy wybranymi parametrami biomechanicznymi a cechami somatycznymi, wynikiem sportowym i występowaniem kontuzji.

## 2. Materiał i Metody

W badaniach stabilności posturalnej brało udział 25 wysokokwalifikowanych zawodników trenujących zapasy, w tym 14 kobiet oraz 11 mężczyzn. Średni staż treningowy zawodniczek wyniósł  $5,57 \pm 1,16$  lat; średnia wysokość ciała  $167,6 \pm 4,65$  cm; średnia masa ciała  $65,5 \pm 6,12$  kg; średni wiek  $22,3 \pm 12,2$  lat. Natomiast u zawodników średni staż treningowy wyniósł  $4,73 \pm 1,62$  lat; średnia wysokość ciała –  $183,4 \pm 5,54$  cm; średnia masa ciała –  $89,8 \pm 8,24$  kg; średni wiek –  $23,3 \pm 0,65$  lat.

Podstawowym kryterium selekcji uczestników badania było osiągnięcie wysokiego miejsca na podium w przeciągu ostatnich 2 lat. Zawodnicy w czasie

wykonywania badań znajdowali się w okresie startowym. Ich uczestnictwo w badaniach było dobrowolne.

Uczestnicy badań w dzień pomiarów uzupełnili w formie elektronicznej krótki formularz, który pozwolił uzyskać cenne informacje na temat, m.in.: wieku, występujących kontuzji w przeciągu ostatnich 2 lat, dominacji danej kończyny, czy też osiągnięć sportowych. Badania stabilności posturalnej trwały przez okres dwóch tygodni. Wszystkie pomiary odbywały się w godzinach rannych, przed zaplanowanymi treningami zawodników.

Uczestnicy badań wykonywali pomiary w sportowym stroju, bez obuwia oraz bez skarpet. Testy zdolności utrzymania równowagi odbywały się w dwóch pozycjach ze zmianą warunków sensorycznych. Wykonano trzy badania z kontrolą wzrokową, bez kontroli wzrokowej oraz w sprzężeniu zwrotnym podczas przyjmowania pozycji obunóż oraz z oczami otwartymi i w sprzężeniu zwrotnym w pozycji Romberga. Każdą z prób wykonano podwójnie, aby zapoznać zawodników z platformą posturograficzną oraz wybrać korzystniejszy wynik. Czas trwania każdego badania wynosił 31 sekund.

Jeśli zawodnicy stracili równowagę i opuścili jedną kończynę podczas badania poza obszar platformy posturograficznej, pomiar testu został wykluczony, a procedurę przeprowadzano ponownie.

Badania przeprowadzono na platformie posturograficznej firmy PRO-MED o wymiarach 50x50 centymetrów [Olton 2004]. Do przeprowadzenia badania niezbędny był jeden dodatkowy monitor, który rozszerzał ekran. Pierwszy monitor był przeznaczony do użytku osoby badanej, aby mogła skupić swój wzrok na jednym punkcie, drugi monitor zaś służył dla kontroli przez osobę nadzorującą badanie.

Osoba badana znajdowała się na platformie posturograficznej w odległości dwóch metrów od monitora. Badany w zależności od specyfiki pomiaru ustawiał stopy na wyznaczonych liniach platformy. Ważnym aspektem było przestrzeganie, aby ćwiczący przyjął prawidłową pozycję ciała w zależności od specyfiki badania. W pozycji Romberga ważny aspekt stanowiło ułożenie stopy nogi ugiętej. Stopę należało usytuować niedaleko kolana nogi podporowej, omijając opieranie stopy o kolano, w przeciwnym wypadku dodatkowy nacisk na nogę podporową wpłynąłby na pogorszenie wyniku pomiaru. Wykorzystano podstawowe parametry oceny standardowego badania posturograficznego.

Wszystkie wyniki badań opracowano za pomocą programu Statistica 13. Porównując ze sobą poszczególne parametry biomechaniczne między grupą zawodniczek, a zawodników trenujących zapasy posłużono się testem nieparametrycznym U Manna-Whitneya oraz korelacją liniową Pearsona.

### 3. Wyniki

Wykonując analizę uzyskanych wyników badań w głównej mierze skupiono się na porównaniu zdolności zachowania równowagi ciała pomiędzy dwie grupami: zawodniczkami oraz zawodnikami trenującymi zapasy pod wpływem zmiany

warunków wzrokowych [Golema 2002]. Zestawiając ze sobą wyniki badań skupiono się na porównaniu ze sobą podstawowych parametrów oceny standardowego badania posturograficznego, tj.:

- średni promień wychyleń z odchyleniem standardowym mm,
- pole powierzchni rozwiniętej statokinezyjogramu mm<sup>2</sup>,
- długość krzywej statokinezyjogramu i stabilogramu mm,
- średnia prędkość przemieszczania środka ciężkości w ruchu złożonym podczas kontroli wzrokowej, bez kontroli wzrokowej i przy sprzężeniu zwrotnym mm/s,
- wskaźnik 'Koordynacja' %.

### **Porównanie stabilności posturalnej zawodników oraz zawodniczek w pozycji obunóż z oczami otwartymi**

W grupie badanych zawodników i zawodniczek wyróżniono jednostki, które osiągnęły wyniki odbiegające w znaczny sposób od wartości uzyskanych przez innych badanych. Wśród płci żeńskiej minimalna wartość średniego promienia wychyleń wyniosła 1,1 mm, pole powierzchni statokinezyjogramu 59 mm<sup>2</sup>, długość krzywej statokinezyjogramu i stabilogramu 171 mm oraz średnia prędkość przemieszczania się COM 5 mm/s.

U zapaśnika płci męskiej minimalna wartość średniego promienia wychyleń wyniosła 1,5 mm, pole powierzchni statokinezyjogramu 111 mm<sup>2</sup>, długość krzywej statokinezyjogramu i stabilogramu 171 mm oraz średnia prędkość przemieszczania się COM 5 mm/s (Tab. 1).

**Tab. 1** Wyniki zagregowane obliczone z danych pomiarowych podczas przyjmowania pozycji obunóż z kontrolą wzrokową przez zawodniczki (n = 14) i zawodników (n= 11) trenujących zapasy

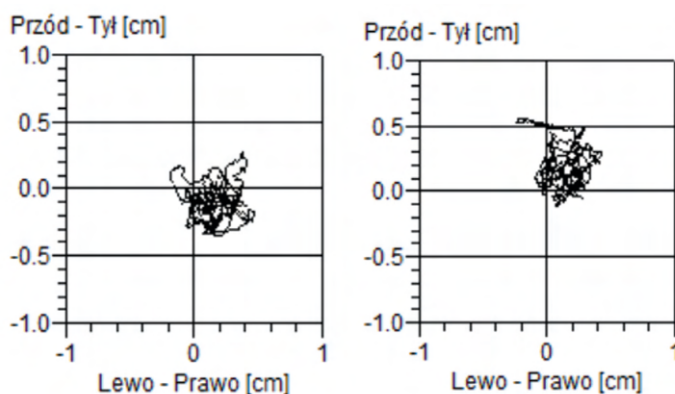
Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	K	2,44	2,0	1,1	5,2	1,18
Pole [mm <sup>2</sup> ]	K	194,79	141,0	59,0	418,0	125,42
Długość [mm]	K	235,29	243,5	171,0	327,0	52,31
Prędkość [mm/s]	K	7,29	8,0	5,0	10,0	1,73
Promień [mm]	M	2,83	2,70	1,5	4,2	1,01
Pole [mm <sup>2</sup> ]	M	218,45	204,0	11,0	426,0	97,64
Długość [mm]	M	241,18	235,0	171,0	357,0	54,16
Prędkość [mm/s]	M	7,64	7,0	5,0	11,0	1,75

Po przeprowadzeniu testu nieparametrycznego U-Manna Whitneya wykazano brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy badanymi grupami kobiet (n = 14) i mężczyzn (n = 11), (Tab. 2).

**Tab. 2** Wynik testu U Manna-Whitneya uzyskanego przy badaniu stabilności posturalnej w pozycji obunóż z oczami otwartymi

Płeć	Sum. rang		U	Z	p	Z popraw.	p
	K	M					
Promień [mm]	159,5	165,5	54,5	-1,20	0,228	-0,21	0,228
Pole [mm <sup>2</sup> ]	165,1	160,1	60,0	-0,90	0,366	-0,90	0,366
Długość [mm]	178,5	146,5	73,5	-0,16	0,870	-0,16	0,870
Prędkość [mm/s]	174,1	151,1	69,0	-0,41	0,681	-0,42	0,676

Na rycinie 1 przedstawiono statokinezyjogramy uzyskanych wyników przez zawodniczkę oraz zawodnika z najmniejszą średnią wartością w promieniu wychyleń w pozycji obunóż z oczami otwartymi. Na statokinezyjogramie znajdującym się po lewej stronie zaprezentowano wynik zawodniczki, natomiast po prawej stronie wynik zawodnika.



**Ryc. 1** Statokinezyjogramy dla zawodniczki oraz zawodnika z najmniejszą uzyskaną wartością w promieniu wychyleń.

### Porównanie stabilności posturalnej zawodników oraz zawodniczek w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi oraz w sprzężeniu zwrotnym

W przypadku analizy wyników badań w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi i w sprzężeniu zwrotnym powstała sytuacja sugerująca o zbliżonych wartościach zdolności zachowania równowagi ciała u zawodników obu płci (Tab. 3-6).

**Tab. 3** Wyniki zagregowane obliczone z danych pomiarowych podczas przyjmowania pozycji obunóż bez kontroli wzrokowej przez zawodniczki i zawodników trenujących zapasy

Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	K	2,62	2,1	1,4	5,5	1,3
Pole [mm <sup>2</sup> ]	K	220,7	160,5	79,0	548,0	142,2
Długość [mm]	K	269,4	266,5	184,0	405,0	64,0
Prędkość [mm/s]	K	8,6	8,5	6,0	13,0	2,1

Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	M	2,9	2,6	1,3	5,7	1,2
Pole [mm <sup>2</sup> ]	M	262,3	190,0	85,0	832,0	213,1
Długość [mm]	M	262,7	235,0	186,0	430,0	72,6
Prędkość [mm/s]	M	8,2	7,0	6,0	13,0	2,2

**Tab. 4** Wynik testu U Manna-Whitneya uzyskanego przy badaniu stabilności posturalnej w pozycji obunóż z oczami zamkniętymi

Płeć	Sum. rang		U	Z	p	Z popraw.	p
	K	M					
Promień [mm]	165,0	160,0	60,0	-0,9	0,366	-0,9	0,366
Pole [mm <sup>2</sup> ]	176,0	149,0	71,0	-0,3	0,763	-0,3	0,763
Długość [mm]	188,0	137,0	71,0	0,3	0,763	0,3	0,763
Prędkość [mm/s]	193,5	131,5	65,5	0,6	0,547	0,61	0,539

**Tab. 5** Wyniki zagregowane obliczone z danych pomiarowych podczas przyjmowania pozycji obunóż w sprzężeniu zwrotnym przez zawodniczki i zawodników trenujących zapasy

Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	K	2,4	2,45	1,2	4,6	0,85
Pole [mm <sup>2</sup> ]	K	192,8	174,5	87,0	419,0	97,66
Długość [mm]	K	245,7	238,5	172,0	346,0	49,94
Prędkość [mm/s]	K	7,7	7,5	5,0	11,0	1,64
Promień [mm]	M	2,5	2,6	0,9	3,7	0,77
Pole [mm <sup>2</sup> ]	M	201,6	192,0	43,0	360,0	98,30
Długość [mm]	M	238,0	236,0	160,0	323,0	53,95
Prędkość [mm/s]	M	0,36	7,0	5,9	10,0	1,69

**Tab. 6** Wynik testu U Manna-Whitneya uzyskanego przy badaniu stabilności posturalnej w pozycji obunóż w sprzężeniu zwrotnym

Płeć	Sum. rang		U	Z	p	Z popraw.	p
	K	M					
Promień [mm]	172,0	153,0	67,0	-0,52	0,603	-0,52	0,601
Pole [mm <sup>2</sup> ]	174,0	151,0	69,0	-0,41	0,681	-0,41	0,681
Długość [mm]	186,0	139,0	73,0	0,19	0,848	0,19	0,848
Prędkość [mm/s]	191,5	133,5	67,5	0,49	0,622	0,50	0,616

Analiza danych pomiarowych uzyskanych podczas badania posturograficznego wykazała brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy badanymi grupami zawodników i zawodniczek uprawiającymi zapasy.

### Porównanie stabilności posturalnej zawodników zapasów podczas przyjmowania pozycji jednonóż na nodze dominującej z oczami otwartymi oraz w sprzężeniu zwrotnym

Poprzez analizę uzyskanych danych pomiarowych na platformie posturograficznej, dotyczących badanych zawodników zapasów, podczas przyjmowania pozycji jednonóż z kontrolą wzrokową oceniono poziom stabilności posturalnej badanych osób (Tab. 7-8). Badanie wykonane na nodze dominującej w pozycji Romberga w różnych warunkach kontroli wzrokowej pozwala na stwierdzenie, iż warunki sensoryczne odgrywają niebagatelny wpływ na zdolność utrzymania równowagi ciała i stabilności posturalnej.

**Tab. 7** Wyniki zagregowane obliczone z danych pomiarowych podczas przyjmowania pozycji jednonóż z kontrolą wzrokową przez zawodniczki i zawodników trenujących zapasy

Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	K	4,8	4,7	3,9	5,9	0,6
Pole [mm <sup>2</sup> ]	K	1104	1058	670	1854	312
Długość [mm]	K	701	687	508	963	129
Prędkość [mm/s]	K	21,8	21,0	16	30	4,1
Promień [mm]	M	5,3	4,8	3,4	7,9	1,3
Pole [mm <sup>2</sup> ]	M	1260	1064	431	2337	634
Długość [mm]	M	79	739	425	1075	192
Prędkość [mm/s]	M	22,1	23	13	34	6,1

**Tab. 8** Wyniki zagregowane obliczone z danych pomiarowych podczas przyjmowania pozycji jednonóż w sprzężeniu zwrotnym przez zawodniczki i zawodników trenujących zapasy

Zmienna	Płeć	Średnia	Mediana	min	max	±SD
Promień [mm]	K	4,8	4,4	3,7	6,8	0,98
Pole [mm <sup>2</sup> ]	K	1189	965	788	2799	601,5
Długość [mm]	K	718	697	560	1236	185,3
Prędkość [mm/s]	K	23	22	18	39	5,9
Promień [mm]	M	5,1	4,6	3,4	9,2	1,6
Pole [mm <sup>2</sup> ]	M	1342	1109	299	2077	557,6
Długość [mm]	M	653	648	431	822	154,0
Prędkość [mm/s]	M	20	21	13	28	4,9

Analiza wyników nie wykazała różnic istotnych statystycznie w stabilności posturalnej przy wykonaniu postawy jednonóż między płciami, gdyż wszystkie wartości p były wyższe od 0,05 (Tab. 9-10).

**Tab. 9** Wynik testu U Manna-Whitneya uzyskanego przy badaniu stabilności posturalnej w pozycji jednonóż z kontrolą wzrokową

Płeć	Sum. rang		U	Z	p	Z popraw.	p
	K	M					
Promień [mm]	139	187	73	-0,22	0,827	-0,22	0,827
Pole [mm <sup>2</sup> ]	146	179	74	0,14	0,891	0,14	0,891
Długość [mm]	157	169	64	0,71	0,477	0,71	0,476
Prędkość[mm/s]	157	169	64	0,71	0,477	0,71	0,475

**Tab. 10** Wynik testu U Manna-Whitneya uzyskanego przy badaniu stabilności posturalnej w pozycji jednonóż w sprężeniu zwrotnym

Płeć	Sum. rang		U	Z	p	Z popraw.	p
	K	M					
Promień [mm]	131	195	65	-0,66	0,511	-0,66	0,511
Pole [mm <sup>2</sup> ]	138	187	72	-0,25	0,85	-0,25	0,805
Długość [mm]	143	183	77	0,00	1,00	0,00	1,000
Prędkość[mm/s]	142	183	76	-0,03	0,978	-0,03	0,978

### Związek między poziomem współczynnika Romberga a osiągnięciami sportowymi zapaśników

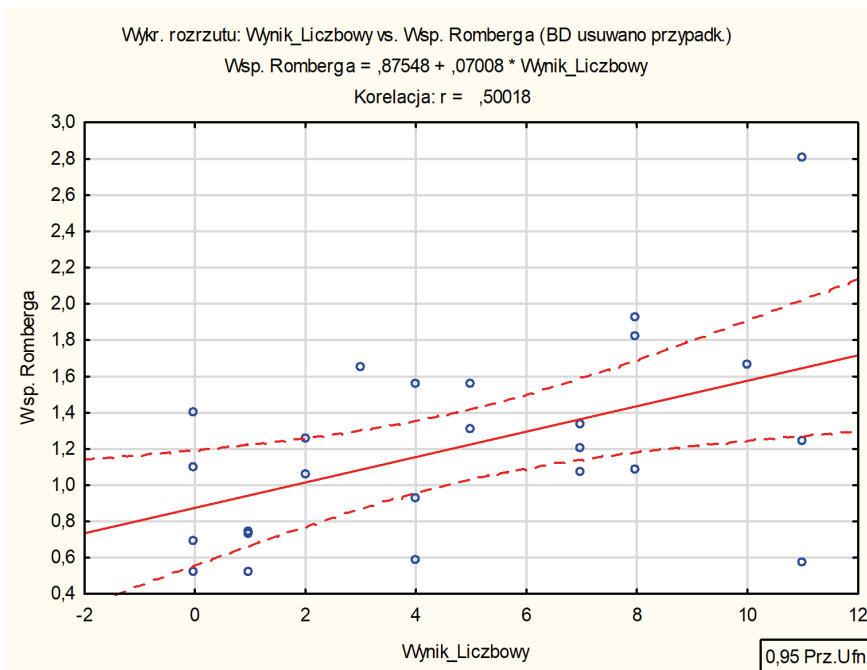
W czasie trwania kariery sportowej zawodnicy doskonalą swój warsztat poprzez ciągły i systematyczny rozwój umiejętności związanych z daną dyscypliną sportową. Wynikiem tego jest uzyskiwanie coraz lepszych lokat na różnego rodzaju zawodach i sparingach.

W celu określenia współzależności pomiędzy współczynnikiem Romberga a uzyskiwanymi wynikami sportowymi, posłużono się współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona.

Dokonując analizy badań pomiędzy poziomem współczynnika Romberga a osiągnięciami sportowymi osób trenujących zapasy, stwierdzono występowanie umiarkowanej dodatniej korelacji  $r = 0,500$  ( $p < 0,05$ ). Wykres rozrzutu między wynikiem sportowym a współczynnikiem Romberga został zaprezentowany na rycinie 2.

### Ocena wpływu masy ciała na poziom stabilności posturalnej zapaśników

Analizując wyniki przeprowadzonego badania pomiędzy współczynnikiem Romberga a masą ciała, szczególną uwagę zwrócono na różnice płciowe badanych zawodników. Badanie przeprowadzono przyjmując poziom istotności alfa równy 0,05. W grupie zawodniczek współczynnik korelacji liniowej Pearsona ( $r$ ) wyniósł 0,197 pomiędzy współczynnikiem Romberga a masą ciała. Wartość ta wskazuje na istnienie słabej dodatniej zależności między masą ciała a stabilnością posturalną



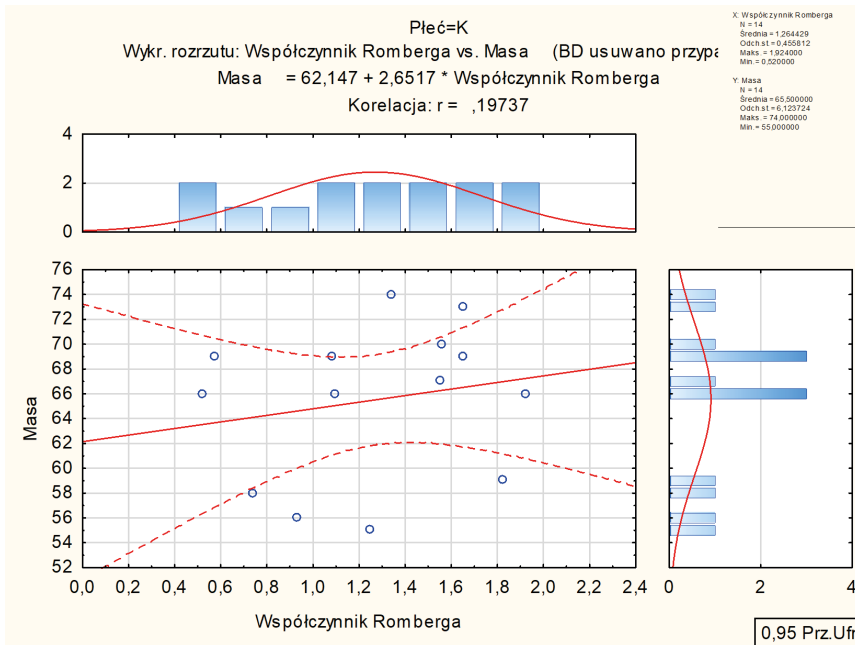
**Ryc. 2** Rozrzut pomiędzy współczynnikiem Romberga a sumą punktową wyniku sportowego osób trenujących zapasy.

u kobiet (Ryc. 3). W grupie badanych zapaśników zaobserwowano silniejszy związek pomiędzy współczynnikiem Romberga a masą ciała, gdzie współczynnik korelacji Pearsona wyniósł 0,329. Wynik ten wskazuje na występowanie umiarkowanej dodatniej korelacji między masą ciała a stabilnością posturalną u mężczyzn (Ryc. 4). Analiza wyników badań pozwala jednoznacznie potwierdzić występowanie pewnej korelacji pomiędzy masą ciała a współczynnikiem Romberga, zarówno u kobiet, jak i u mężczyzn. Jednakże różnice płciowe mogą wywierać wpływ na siłę tego związku, przy czym dla mężczyzn obserwuje się silniejszą korelację niż dla kobiet.

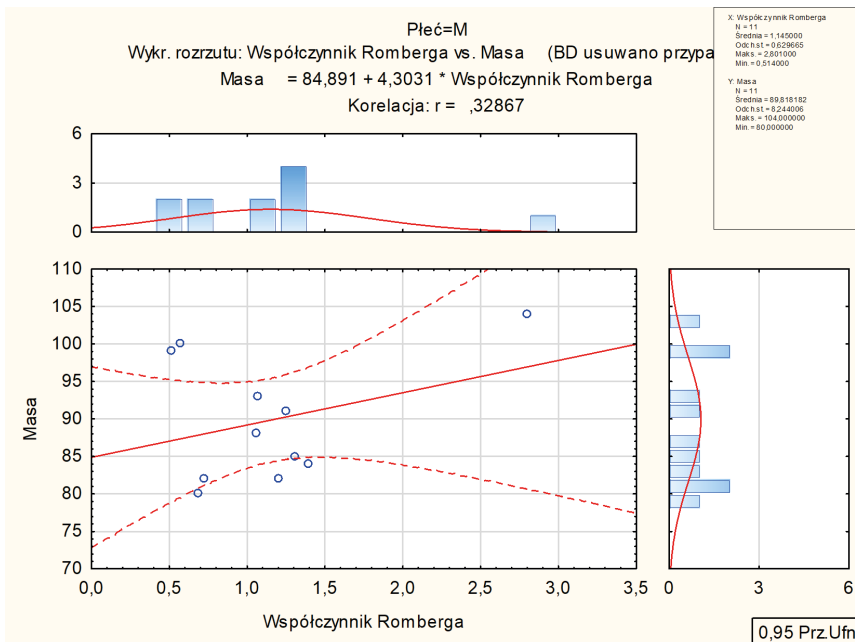
### **Zmienność stabilności posturalnej uwarunkowanej wysokością ciała zapaśników**

Poziom stabilności posturalnej kształtuje się w ścisłej zależności od cech somatycznych, m.in. takich jak: budowa oraz wysokość ciała badanej osoby. Wysokość ciała ma znaczący wpływ na utrzymanie równowagi i stabilności posturalnej. Im wyższa sylwetka, tym trudniej utrzymać ciało w równowadze i stabilności posturalnej. Dzieje się to tak, ponieważ osoby wysokie łatwiej ulegają zachwianiom w różnych kierunkach płaszczyznowych. Przeprowadzona analiza wyników obrazuje, jak wysokość ciała wpływa na utrzymanie stabilności posturalnej. W grupie kobiet nie stwierdzono występowanie korelacji. Natomiast u mężczyzn wskazując jednocześnie na wystąpiła umiarkowana zależność pomiędzy badanymi zmiennymi,  $r = 0,33$ . Porównując wyniki przeprowadzonych badań posturograficznych zaobserwowano,

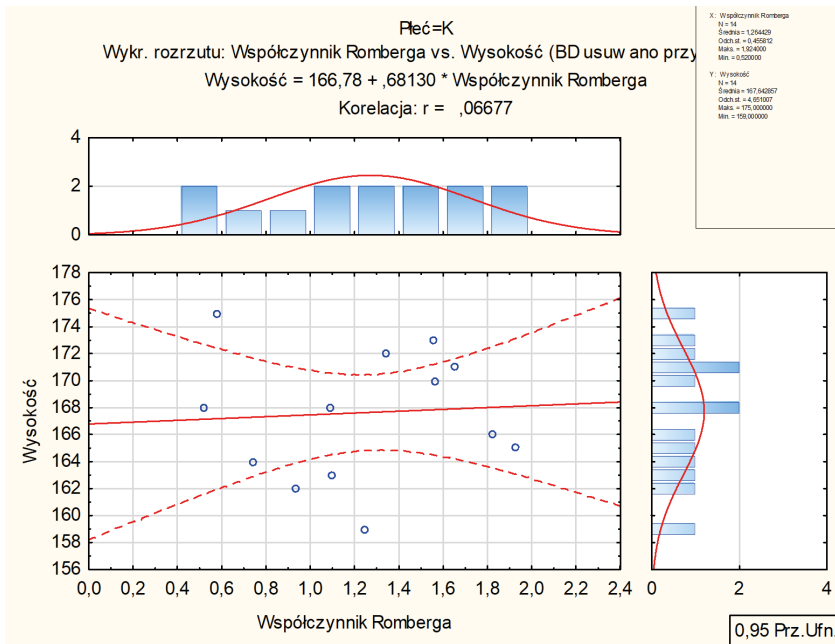
iz w grupie męczyzn (Ryc. 5) wysokość ciała ma większy wpływ na stabilność posturalną, niż w grupie kobiet (Ryc. 6).



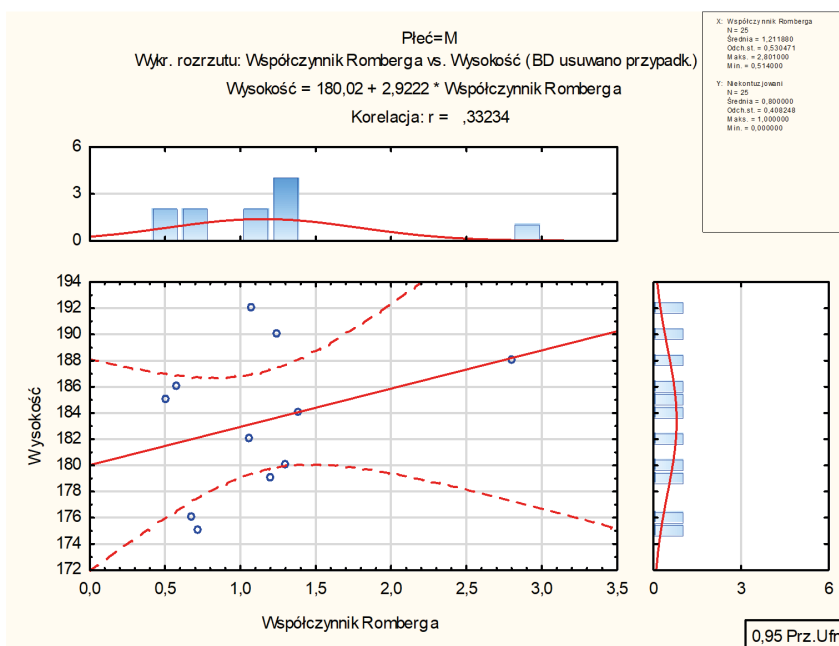
**Ryc. 3** Rozrzt sumy punktów pomiędzy współczynnikiem Romberga a masą ciała w grupie zawodniczek trenujących zapasy.



**Ryc. 4** Rozrzt sumy punktów pomiędzy współczynnikiem Romberga a masą ciała w grupie zawodników trenujących zapasy.



**Ryc. 5** Rozrzut sumy punktów pomiędzy współczynnikiem Romberga a wysokością ciała w grupie zawodniczek trenujących zapasy.

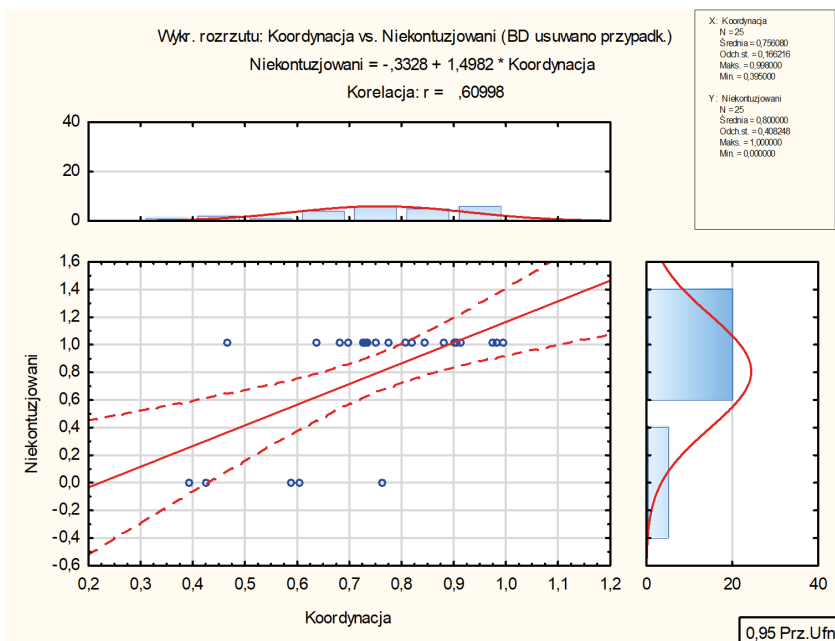


**Ryc. 6** Rozrzut sumy punktów pomiędzy współczynnikiem Romberga a wysokością ciała w grupie zawodników trenujących zapasy.

## Ocena wpływu kontuzji na poziom stabilności posturalnej zapaśników

Zapasy to dyscyplina sportowa, w której zawodnicy bardzo często narażeni są na urazy i kontuzje. Dokonana analiza wyników badań zapaśników skupiała się w głównej mierze na wskazaniu korelacji pomiędzy odniesionymi kontuzjami kończyn dolnych na przestrzeni 2 ostatnich lat a wskaźnikiem 'KOORDYNACJA'.

Stwierdzono, iż występuje korelacja ( $r = 0,61$ ) na poziomie średnim pomiędzy wskaźnikiem 'KOORDYNACJA' a odniesionymi kontuzjami kończyn dolnych podczas treningów i sparingów (Ryc. 7).



Ryc. 7 Rozrzut punktów pomiędzy wskaźnikiem „koordynacją” a występowaniem kontuzji u zapaśników.

## 4. Dyskusja

Problematyka stabilności posturalnej była i jest przedmiotem wielu badań naukowych, o czym świadczą liczne publikacje i literatura przedmiotu [Golema 2002, Masgutova 2005, Sterkowicz 2012, Pion i wsp. 2014, Mała i wsp. 2016]. Jednak daje się zauważyć, że tylko nieliczni autorzy podejmują problematykę dotyczącą oceny zachwiania równowagi i utraty stabilności posturalnej u sportowców uprawiających sztuki walki [Milosavljevic i wsp. 2016], a zwłaszcza zapasy. Być może dzieje się to z takiego powodu, iż ta dziedzina sportu jest mało popularna i próżno szukać w programach telewizyjnych transmisji zawodów zapaśniczych i innych bieżących informacji na temat zmagania zapaśników. Doniesienia sportowe dotyczą zwykle tylko sytuacji medalowej o wysokiej randze: krajowej, europejskiej i światowej.

Zapasy wymagają od zawodników utrzymywania stabilnej postawy w pozycji stojącej, bo od tego najczęściej zależy dalszy przebieg zmagania zapaśniczych: stosowane chwyt, uniki, szybkość reakcji oraz błyskawiczna koordynacja wzrokowo-ruchowa [Błach i wsp. 2006]. Doskonale umiejętności zachowania równowagi statycznej w treningu i zmaganiach zapaśniczych niewątpliwie jest kluczowym czynnikiem pozwalającym na odpieranie ataków rywala i podejmowanie działań odwetowych zmierzających ku uzyskaniu przewagi nad przeciwnikiem.

Problematyka niniejszych badań dotyczyła oceny stabilności posturalnej zawodników i zawodniczek uprawiających zapasy z wykorzystaniem platformy posturograficznej [Golema 2002, Kuczyński i wsp. 2012]. Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań można stwierdzić, że zarówno zawodniczki, jak i zawodnicy trenujący zapasy mają zbliżony poziom stabilności posturalnej.

Stabilność posturalna jest niezwykle istotnym elementem w zapasach, ponieważ zawodnicy muszą utrzymywać równowagę podczas dynamicznych ruchów, takich jak rzuty, obroty i uniki. Porównywalna stabilność posturalna u obu płci sugeruje, że treningi zapasów są równie skuteczne dla kobiet i mężczyzn w rozwijaniu umiejętności utrzymywania równowagi. Brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy grupami może być związany z faktem, że zapaśnicy i zapaśniczki trenują w grupach mieszanych.

Uzyskane wyniki badań sugerują, iż nie występują różnice pomiędzy podstawowymi parametrami biomechanicznymi zarówno w grupie kobiet, jak i mężczyzn podczas przyjmowania pozycji obunóż i jednonóż z zachowaniem różnych warunków percepcji wizualnej (z oczami otwartymi, z oczami zamkniętymi i w sprzężeniu zwrotnym). Opierając się na analizie stabilograficznej można stwierdzić, że wyniki dowodzą sprawnej kontroli pozycji stojącej badanych zawodników. Podobne spostrzeżenia można znaleźć w pracach Błaszczyka [2004] oraz Dmitruk i wsp. [2004].

Stwierdzono również, iż występuje umiarkowana korelacja pomiędzy poziomem stabilności posturalnej a osiągnięciami sportowymi zawodników zapasów. Zaobserwowano występowanie korelacji pomiędzy przebytymi kontuzjami kończyn dolnych na przestrzeni ostatnich dwóch lat a współczynnikiem Romberga. Podobnych spostrzeżeń dokonał Lord i wsp. [2003]. W swoich badaniach przeprowadzonych na grupie osób wykazał, że większe wychwiania posturalne zaobserwowano u osób, u których wcześniej wystąpiły kontuzje i poważne urazy. Oprócz kontuzji kończyn górnych i barków urazowi ulegają kończyny dolne, które są uciskane przez masę ciała drugiego zawodnika, w wyniku czego dochodzi do zwichnięć, zerwań mięśni, a nawet złamań kości [Skalska i wsp. 2003].

W dostępnych publikacjach odnoszących się do badań zdolności utrzymania równowagi statycznej w pozycji pionowej można znaleźć częste stwierdzenia, iż niewielkie wychwiania zobrazowane przez wartości amplitudy ruchów stanowią warunek utrzymania równowagi ciała [Golema 2002, Błaszczyk 2004]. Na zdolność

utrzymania równowagi i stabilność posturalną niewątpliwie ma wpływ ukierunkowany trening zapaśniczy. Zapaśnik na macie narażony jest na gwałtowne zmiany pozycji ciała oraz zmiany ułożenia poszczególnych segmentów ciała spowodowane atakiem rywala. Umiejętność utrzymania środka ciężkości w pozycji umożliwiającej skuteczne przyjmowanie ataków w trakcie sparingu jest nieodłącznym elementem starcia dwóch zapaśników, którzy oddziałują na przeciwnika siłą swoich mięśni oraz poprzez wpływ innych zdolności motorycznych [Raczek i wsp. 2007, Hantke i wsp. 2012].

## 5. Wnioski

Zarówno zawodnicy, jak i zawodniczki trenujący regularnie zapasy charakteryzują się zbliżonym poziomem stabilności posturalnej podczas przyjmowania pozycji obunóż oraz jedenonóż z uwzględnieniem różnych warunków percepcji wizualnej.

W grupie badanych mężczyzn wykazano umiarkowaną współzależność dodatnią pomiędzy wysokością ciała a współczynnikiem Romberga. Zauważono także podobną współzależność pomiędzy masą ciała zawodnika, a współczynnikiem Romberga. Wskazuje to na fakt, że większa masa ciała może skutkować pogorszeniem stabilności posturalnej w sytuacji braku kontroli wzrokowej u osób z większą masą ciała.

Stwierdzono, iż na poziom stabilności posturalnej zawodników i zawodniczek trenujących zapasy wpływają kontuzje kończyn dolnych doznane w przeciągu ostatnich dwóch lat. Istnieje współzależność pomiędzy współczynnikiem Romberga a doznanymi kontuzjami przez zawodników. Zaobserwowano występowanie współzależności pomiędzy wynikiem sportowym wysokokwalifikowanych zawodników a stabilnością posturalną.

## Piśmiennictwo

- [1] Błach W., Pujszo R., Pyskir M., Adam M. *Kontrola postawy ciała zawodniczek judo (badania pilotażowe)*. Research yearbook: studies in the theory of physical education and sport. 2005, 11:30-36.
- [2] Błach W., Pujszo R., Pyskir M., Migasiewicz J., Skorupa H., Szymański T. *Wpływ zmiany wysokości położenia ciała na kontrolę postawy człowieka*. Medycyna Sportowa. 2006, 22(1):17-22.
- [3] Błaszczuk J. W. *Biomechanika kliniczna. Podręcznik dla studentów medycyny i fizjoterapii*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL. 2004.
- [4] Błaszczuk J.W., Klonowski W. *Postural stability and frontal dynamics*. Acta Neurobiol. 2001, 61:105-112.
- [5] Dmitruk K., Klawe J., Tafil-Klawe M., Jeżewska J. *Wielkość parametrów posturograficznych w procesie utrzymywania równowagi u tancerzy*. Fizjoterapia Polska. 2004, 4(1):47-51.
- [6] Golema M. *Charakterystyka procesu utrzymywania równowagi ciała człowieka w obrazie stabilograficznym*. Studia i Monografie. Wrocław: AWF. 2002.

- [7] Hantke A., Michnik R., Jurkojć J., Skubacz H., Gruszka M. *Badania stabilograficzne gimnastyczek sportowych*. Aktualne Problemy Biomechaniki. 2012, 6:37-42.
- [8] Juras G. *Koordynacyjne uwarunkowania procesu uczenia się utrzymania równowagi ciała*. Katowice: Wydawnictwo Akademii Wychowania Fizycznego. 2003.
- [9] Kostorz K., Skorupińska A. *Body balance of persons practicing martial arts - review of research*. Roczniki Naukowe Wyższej Szkoły Wychowania Fizycznego i Turystyki w Białymstoku. 2017, 1(19):5-16.
- [10] Kuczyński M., Podbielska M. L., Bieć D., Paluszak A., Kręcisz K. *Podstawy oceny równowagi ciała: czyli co, w jaki sposób i dlaczego powinniśmy mierzyć?* Inżynieria Biomedyczna. 2012, 18(4):243-249.
- [11] Lord R., Menz B., Tiedemann A. *Profil fizjologiczny w ocenie ryzyka i profilaktyce upadków*. Rehabilitacja medyczna. 2003, 7(3):35-46.
- [12] Mala L., Mala T., Zahalka F. *Influence of maximal anaerobic performance on body posture stability in elite senior and junior male judo athletes*. Archives of Budo. 2016, 12:117-124.
- [13] Malzer I., Benjuya N., Kaplanski J. *Age- Related Changes of postural control: effect of cognitive tasks*. Clinical Section, Gerontology. 2001, 47:189-194.
- [14] Mazgutova S., Makatowa N. *Integracja odruchów dynamicznych i posturalnych z układem ruchowym całego ciała*. Warszawa: Międzynarodowy Instytut Neurokinezyjologii Rozwoju Ruchowego i Integracji Odruchów. 2005.
- [15] Milosavljevic S., Matavulj D., Trunic N., Djurovic M., Spasovic J. *Correlation of different factors of balance and the quality of realization of movement techniques in aikido*. Archives of Budo. 2016, 12:77-84.
- [16] Olczak A. *Równowaga ciała człowieka: ćwiczenia*. Warszawa: Wydawnictwo lekarskie PZWL. 2016.
- [17] Olex-Zarychta D. *Lateralizacja funkcjonalna kończyn człowieka i jej uwarunkowania w zakresie koordynacji motorycznej*. Katowice: Wydawnictwo AWF. 2010.
- [18] Olton J. *Posturograf. System badania i oceny układu równowagi i koordynacji wzrokowo-ruchowej*. Warszawa: ProMed. 2004.
- [19] Pion J., Fransen J., Lenoir M., Segers V. *The value of non-sport-specific characteristics for talent orientation in young male judo, karate and taekwondo athletes*. Archives of Budo. 2014, 10:147-154.
- [20] Pyda-Dulewicz A., Konopka W., Fedorowicz J.P., Pepaś R. *Effects of physical activity on posturography in healthy subjects*. Otorinolaryngologia. 2017, 16(3):125-130.
- [21] Pyskir M., Pujszo R., Bosek M., Grzegorzewski B., Błach W. *Wpływ wybranych ćwiczeń fizycznych na system kontroli postawy człowieka*. Medycyna Sportowa. 2004, 20(5):247-253.

- [22] Pytłasiński W. *Tajniki walki zapaśniczej*. Wrocław: Wojownicy. 2020.
- [23] Raczek J., Trzaska J., Słomka K., Juras B., Juras G. *Balancing on the movable platform in different conditions- How stable is a strategy?* Motor Control. 2007, 11:151-152.
- [24] Skalska A., Walczewska J., Ocetkiewicz T. *Wiek, płeć i aktywność fizyczna osób zgłaszających upadki oraz okoliczności ich występowania*. Rehabilitacja medyczna. 2003, 7/3:49-53.
- [25] Sterkowicz S., Lech G., Jaworski J., Ambroży T. *Coordination motor abilities of judo contestans at different age*. Journal of Combat Sports and Martial Art. 2012, 1(2):5-10.
- [26] Wiszomirska I., Bender N., Patej M., Błazkiewicz M. *The impact of sensorimotor training on postural stability and motor skills of basketball players in the prevention of injuries*. Med Sport. 2017, 70(4):354-64.

## **Efekt treningu łyżwiarstwa figurowego na równowagę ciała w warunkach wzrokowego sprzężenia zwrotnego u łyżwiarek figurowych w wieku 10-14 lat**

### **The impact of figure skating training on balance stability during visual feedback conditions in female figure skaters aged 10-14**

**A. DĄBROWSKA-FARBIŚ**

Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Sportów Indywidualnych  
e-mail: agnieszka.dabrowska@awf.edu.pl

*Słowa kluczowe: łyżwiarstwo figurowe, równowaga, wzrokowe sprzężenie zwrotne*

#### **1. Wstęp**

Równowaga człowieka definiowana jest jako zdolność utrzymywania rzutu środka masy ciała (COM) wewnątrz powierzchni podparcia, określanej w przybliżeniu przez obszar kontaktu stóp z podłożem [Kuczyński 2000; Juras 2003]. Proces utrzymania równowagi w pozycji stojącej polega na ciągłej utracie i odzyskiwaniu równowagi [Pisula 2008]. Głównym celem ośrodka równowagi jest utrzymanie środka ciężkości ciała w pozycji równowagi w spoczynku i w ruchu [Held-Ziółkowska 2006]. Utrzymanie równowagi oraz odczucie prawidłowej orientacji w przestrzeni zależą u człowieka od prawidłowego współdziałania narządu przedsionkowego, narządu wzroku, zmysłu czucia głębokiego, dotyku oraz narządu słuchu [Nowicki 2004]. Wystarczający poziom rozwoju równowagi pozwala na szybsze opanowanie skomplikowanej techniki różnych ćwiczeń fizycznych na wyższym poziomie technicznym [Bondarevskiy 1976]. W sportach technicznie i koordynacyjnie złożonych jest to determinantą sukcesu. Łyżwiarstwo figurowe jest dyscypliną złożoną technicznie, wymagającą od zawodników silnie rozwiniętych zdolności koordynacyjnych, z których jedną z najważniejszych jest właśnie zdolność utrzymania równowagi w warunkach dynamicznych przy zmniejszonej powierzchni podparcia i niestabilnym podłożu. Ponadto stopa w profesjonalnym butcie łyżwiarskim jest ustawiona pod kątem tak, że pięta jest powyżej kości śródstopia co powoduje podniesienie i przesunięcie środka ciężkości do przodu. Zawodnik w programie startowym porusza się wykonując różne kroki postępowe, obrotowe, szybkie zmiany kierunków, skoki, sekwencje skoków, kombinacje skoków, piruety, sekwencje kroków, sekwencje choreograficzne zawierające pozycje spiral (jaskółek), monda, wypady Ina Bauer, windmill a nawet salta i inne. Wykonanie każdego elementu nie jest więc możliwe bez dobrego wyczucia równowagi [Panin 1956]. Oczywiście precyzyjne wykonanie ruchów nie może być zrealizowane bez odpowiednio

przygotowanej budowy ciała [Lyussi i Richards 1959]. Jedną z cech współczesnego łyżwiarstwa figurowego jest postępująca komplikacja programów startowych. Proces ten rozwija się w szczególności w sposobie, w jaki sportowcy opanowują złożone elementy koordynacyjne i elementy o charakterze rotacyjnym, które wydają się silnie drażnić narząd przedsionkowy. Wiodące miejsce w programach wysoko wykwalifikowanych łyżwiarzy figurowych zajmują dziś skoki z trzema i czterema obrotami po 360° oraz piruety i kroki o najwyższym stopniu złożoności [Yordanova 2020]. Wynik sportowy w łyżwiarstwie figurowym jest więc uzależniony od rozwoju zdolności koordynacyjnych i zdolności utrzymania równowagi przy ciągłym treningu narządu przedsionkowego [Osadchenko 2017]. Te wysoce trudne elementy są już wykonywane przez zawodników w wieku 10-14 lat, a więc klasy novice oraz junior. Wicemistrzyni Igrzysk Olimpijskich z 2022 roku, wielokrotna medalistka Mistrzostw Europy i Świata, Mistrzyni świata juniorów z 2018 i 2019 mając zaledwie czternaście lat zapisała się w historii łyżwiarstwa figurowego jako pierwsza kobieta, która wykonała kilka poczwórnych skoków w programie startowym. Osiągnięcie mistrzostwa sportowego w tak młodym wieku jak Trusova jest zjawiskiem typowym w łyżwiarstwie figurowym. Dlatego też trening łyżwiarstwa figurowego rozpoczyna się w wieku 3-5 lat a dyscyplina ta określana jest mianem wczesnej specjalizacji [American Academy of Pediatricians (AAP) 2000]. Wobec szybkiego rozwoju łyżwiarstwa figurowego w kierunku coraz bardziej skomplikowanych ruchów i sekwencji ruchów opartych o coraz lepszą umiejętność utrzymywania równowagi ciała badanie tej zdolności powinno być częścią procesu treningowego. Niestety choć wiadomym jest w środowisku trenerskim, iż takie badania były i są wykonywane na świecie rzadko są publikowane.

Celem badań niniejszej pracy było określenie wpływu treningu na poziom zmian równowagi ciała u łyżwiarek figurowych w wieku 10-14 lat po rocznym cyklu szkolenia.

## 2. Materiał i metody

Materiał badań stanowiło 15 zawodniczek łyżwiarstwa figurowego należących do warszawskich klubów łyżwiarskich. Wśród badanych zawodniczek były medalistki mistrzostw polski, wszystkie zawodniczki należały w trakcie badań do kadry wojewódzkiej. Zawodniczki poddane zostały badaniom dwukrotnie tzn. badanie powtórzono po roku wobec czego podczas pierwszego badania zawodniczki były w wieku od 10 lat do 13 lat a w drugim badaniu były odpowiednio w wieku od 11 do 14 lat. Średnia stażu badanych łyżwiarek w pierwszym badaniu wynosiła  $5,7 \pm 1,9$  roku. Staż minimalny to 3 lata a maksymalny 9 lat (Tab. 1). Zawodniczki średnio trenują dwa razy dziennie na lodzie do tego mają zajęcia taneczne, baletowe przynajmniej dwa razy w tygodniu oraz zajęcia tzw. *Off ice* czyli specjalistyczne zajęcia łyżwiarskie poza lodem a także treningi funkcjonalne. Daje to w tygodniu od 12-16 godzin treningów w zależności od okresu treningowego z zazwyczaj dwoma dłuższymi przerwami (około dwutygodniowe) w okresie od maja do sierpnia.

Zainteresowanie metodami badania zdolności zachowania równowagi w pozycji stojącej w różnych dziedzinach nauki, a w szczególności fizjologii i biomechaniki, doprowadziło do opracowania różnych technik pomiaru: badań czynnościowych, magnetometrii wychyłowej i platform naciskowych. Metody te jednak różnią się od siebie pod względem rzetelności, sposobu wykonania, zaangażowania możliwości technicznych, łatwości przeprowadzenia i obsługi oraz czasochłonności [Browne i O'Hare 2002]. Obiektywnymi metodami diagnostycznymi są testy posturograficzne. Ocenę stanu równowagi dokonuje się w pozycji stojącej na podstawie analizy otrzymanych zapisów graficznych przemieszczeń środka ciężkości ciała [Kostiukov i wsp. 2009]. Do badań została wykorzystana jedna z bardziej zobiektywizowanych metod oceny zdolności zachowania równowagi, opartych o klasyczną próbę Romberga (badająca odruchy przedsionkowo-rdzeniowe), jaką jest posturografia inaczej zwana statokinezyometrią [Iwankiewicz i wsp. 1991]. Metoda ta rejestruje ruchy wyrównawcze ciała wykonywane przez badanego w pozycji wyprostowanej. Standardowy zestaw badań diagnostycznych obejmuje trzy 32 sekundowe rejestracje wychyleń tj: przy oczach otwartych, zamkniętych oraz w warunkach wzrokowego sprzężenia zwrotnego dla określenia koordynacji wzrokowo-ruchowej. Badanie koordynacji wzrokowo-ruchowej polega na obserwacji przez badanego aktualnej pozycji swojego środka ciężkości na monitorze i takiej korekcji swojej postawy, aby utrzymać ten punkt w zadanym obszarze ograniczającym. To właśnie badanie zostało przeprowadzone wśród zawodniczek łyżwiarstwa figurowego. Zdolność utrzymywania równowagi badana była w pozycji określonej na potrzeby pracy jako standardowa. Pozycja standardowa to pozycja na dwóch nogach, ze stopami ustawionymi na dwóch liniach tworzących obraz litery „V”, (gdzie pięty są blisko siebie a palce nieco dalej) wyprostowana, z ramionami rozluźnionymi, opuszczonymi wzdłuż tułowia. Analizie poddano takie parametry opisujące wyniki badań jak: średnia wartość całkowitej długości wychyleń oraz średnia wartość średniej prędkości wychyleń. Dane pomiarowe opracowane są powszechnie stosowanymi metodami statystyki matematycznej. Obliczone zostały średnie arytmetyczne ( $\bar{x}$ ) oraz odchylenia standardowe (SD), wartości minimalne i maksymalne [Stupnicki 2000]. Do oceny istotności różnic ( $\Delta$ ) pomiędzy średnimi zastosowany został test t-Studenta dla grup zależnych.

System posturografii składa się z następujących modułów:

- a) platforma posturograficzna czteropodporowa, tensometryczna (naciskowa):
  - wymiary [długość x szerokość x wysokość]: 50 x 50 x 8 cm,
  - zakres pomiarowy wychyleń w osiach X i Y:  $\pm 20$  cm,
  - rozdzielczość pomiaru wychyleń: 0,1 mm – obciążenia dopuszczalne w narożniku platformy to 150 kg, a w centrum platformy 600 kg,
- b) stacjonarny lub przenośny zestaw mikrokomputera w standardowej konfiguracji z grafiką typu multimonitor – specjalizowany moduł konwertera wersja RS232 z zasilaczem medycznym,

- c) dodatkowy wydzielony monitor pacjenta do realizacji treningu koordynacji wzrokowo-ruchowej w wariantach: monitor SVGA / LCD/ TV,  
 d) oprogramowanie użytkowe z instrukcją [Olton 2004].

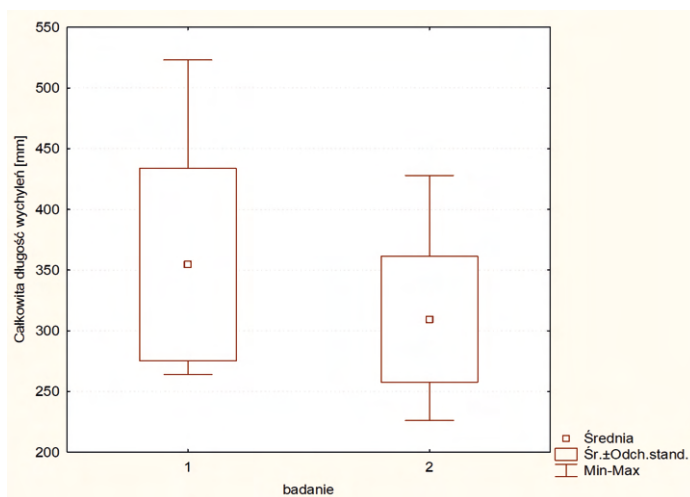
Producentem systemu wykorzystanego do badań jest firma: Systemy Medyczne Pro-Med (Polska).

**Tab. 1** Średnie wartości wieku  $\pm$  SD oraz somatyczna charakterystyka (mc – masa, w – wysokość ciała) badanych zawodniczek łyżwiarstwa figurowego (n=15)

Zmienne	Badanie I			Badanie II		
	wiek [lata]	mc [kg]	w [cm]	wiek [lata]	mc [kg]	w [cm]
Śr $\pm$ SD (min-max)	11,5 $\pm$ 1,1 (10÷13)	37,5 $\pm$ 7,3 (26÷47)	141,6 $\pm$ 7,3 (136÷165)	12,5 $\pm$ 1,1 (11÷14)	40,7 $\pm$ 7,6 (29÷50)	149,7 $\pm$ 8,1 (138÷155)

### 3. Wyniki

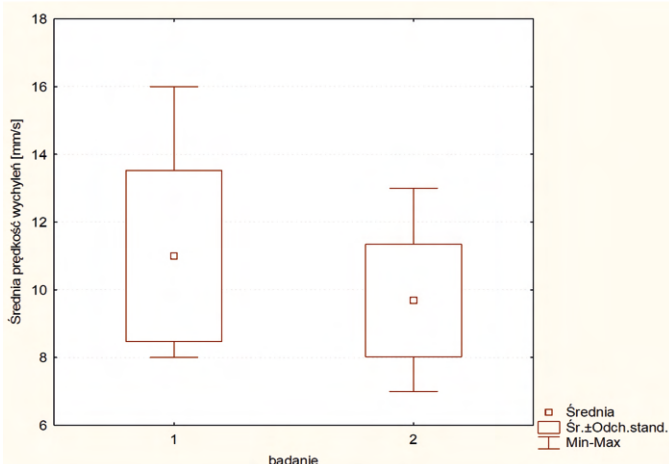
Analiza wyników badań pozwoliła stwierdzić, że średnia wartość całkowitej długości wychyleń w pozycji standardowej podczas wzrokowego sprzężenia zwrotnego u łyżwiarek figurowych w drugim badaniu zmalała o 12,7%. Odchylenie standardowe w pierwszym badaniu wynosi  $\pm$  79,41 mm, a w drugim badaniu odchylenie standardowe wynosi  $\pm$  51.9 mm. Zmiany są istotne statystycznie na poziomie  $p < 0,05$  ( $t_{(15)} = 2,37$ ) (Ryc. 1).



**Ryc. 1** Roczne zmiany średniej wartości całkowitej długości wychyleń w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

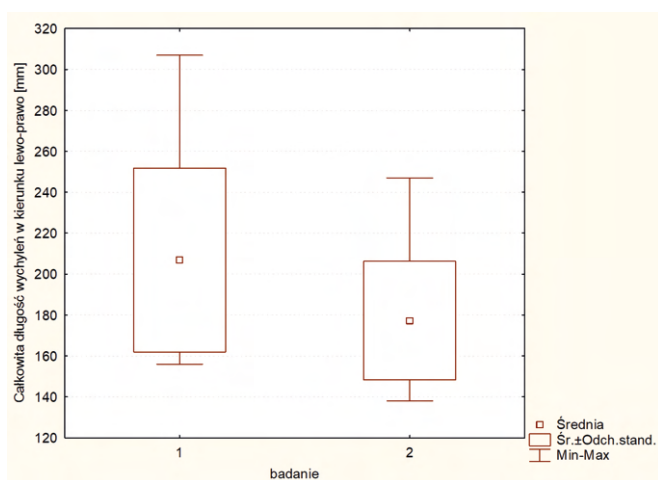
Spadek średniej wartości całkowitej długości wychyleń ma wpływ na zmiany średniej wartości średniej prędkości wychyleń. Średnia wartość średniej prędkości wychyleń istotnie statystycznie zmalała w drugim badaniu. Zmiany te są istotne na poziomie  $p < 0,05$  ( $t_{(15)} = 2,15$ ). Średnia wartość tego parametru w drugim badaniu zmalała o 11,9%, gdzie odchylenie standardowe w pierwszym badaniu

wynosi  $\pm 2,53$  mm/s, natomiast w drugim badaniu odchylenie standardowe wynosi  $\pm 1,66$  mm/s (Ryc. 2).



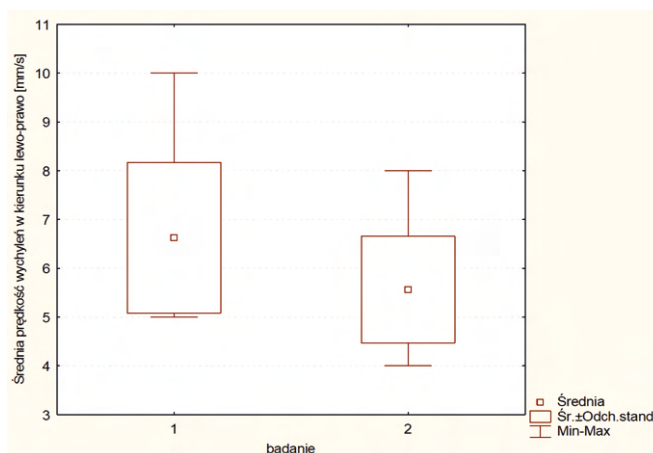
**Ryc. 2** Roczne zmiany średniej wartości średniej prędkości wychyleń w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

Po dokonaniu analizy wyników badań w pozycji standardowej podczas wzrokowego sprzężenia zwrotnego stwierdzono, iż zarówno średnia wartość całkowitej długości wychyleń w kierunku lewo-prawo jak i średnia wartość średniej prędkości wychyleń w tym samym kierunku istotnie statystycznie zmalały w drugim badaniu (tj po upływie roku). Zmiany te są na poziomie  $p < 0,05$ . Średnia wartość całkowitej długości wychyleń w kierunku lewo-prawo (płaszczyzna czołowa) istotnie zmalała w drugim badaniu ( $t_{(15)} = 2,55$ ) o 14,3%. Odchylenie standardowe w pierwszym badaniu wynosi  $\pm 44,9$  mm a w drugim badaniu odchylenie standardowe wynosi  $\pm 29,02$  mm (Ryc. 3).



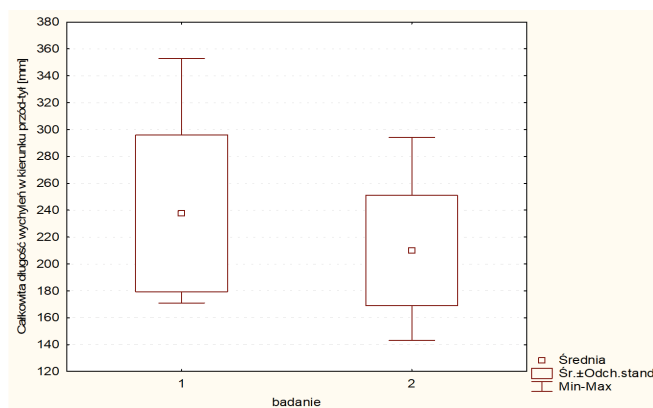
**Ryc. 3** Roczne zmiany średniej wartości całkowitej długości wychyleń w kierunku lewo-prawo (płaszczyzna czołowa) w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

Średnia wartość średniej prędkości wychyleń w kierunku lewo-prawo (płaszczyzna czołowa) istotnie zmalała w drugim badaniu ( $t_{(15)} = 2,64$ ) o 16,1%. Odchylenie standardowe w pierwszym badaniu wynosi  $\pm 1,54$  mm/s, natomiast w drugim badaniu  $\pm 1,09$  mm/s (Ryc. 4).



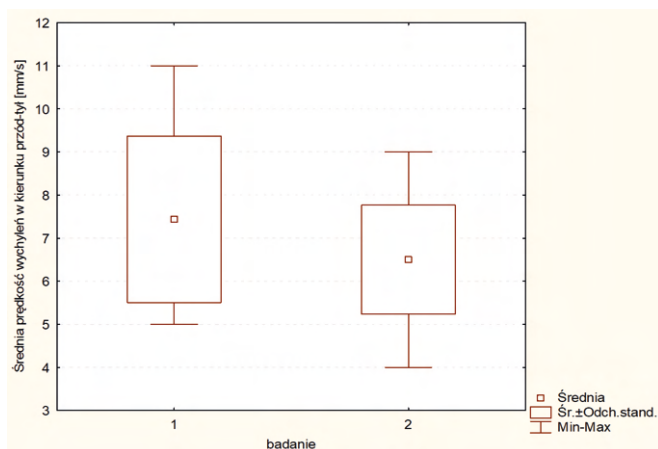
**Ryc. 4** Roczne zmiany średniej wartości średniej prędkości wychyleń w kierunku lewo-prawo (płaszczyzna czołowa) w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

Wykryto zmiany średniej wartości długości wychyleń w kierunku przód-tył (płaszczyzna strzałkowa) w pozycji standardowej w próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego. Średnia wartość tego parametru zmalała w drugim badaniu o 11,6%, gdzie odchylenie standardowe w pierwszym badaniu wynosi  $\pm 58,37$  mm, a w drugim badaniu odchylenie standardowe wynosi  $\pm 40,93$  mm. Różnice między pierwszym, a drugim badaniem są na granicy istotności (tj. dla poziomego granicznego  $0,05 \geq \alpha < 0,1$ , gdzie istotność testu T-student wynosi 0,065, co oznacza, że przy większej liczbie badanych osób istnieje bardzo duże prawdopodobieństwo, iż zależności byłyby istotne statystycznie na poziomie 0,05 (Ryc. 5).



**Ryc. 5** Roczne zmiany średniej wartości całkowitej długości wychyleń w kierunku przód-tył (płaszczyzna strzałkowa) w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

Podobne zjawisko wykryto również podczas analizy średniej wartości średniej prędkości wychyleń w kierunku przód-tył (płaszczyzna strzałkowa). Średnia wartość tego parametru zmalała w drugim badaniu o 12,6%. Różnice między pierwszym, a drugim badaniem są na granicy istotności ( $T$ -studenta = 0,069). Odchylenie standardowe w pierwszym badaniu wynosi  $\pm 1,93$  mm/s, natomiast w drugim badaniu odchylenie standardowe wynosi  $\pm 1,26$  mm/s (Ryc. 6).



**Ryc. 6** Roczne zmiany średniej wartości średniej prędkości wychyleń w kierunku przód-tył (płaszczyzna strzałkowa) w pozycji standardowej, próbie wzrokowego sprzężenia zwrotnego u badanych zawodniczek.

#### 4. Dyskusja

Łyżwiarstwo figurowe to sport, który łączy w sobie wytrzymałość, siłę, elastyczność i wdzięk z dużą dozą artyzmu.

Jedną z cech współczesnego łyżwiarstwa figurowego jest postępująca złożoność programów startowych. Proces ten rozwija się w szczególności pod względem sposobu w jaki sportowcy opanowują elementy o charakterze rotacyjnym, które są złożone pod względem koordynacji, co jest silnym czynnikiem drażniącym dla analizatora przedsionkowego [Yordanova i wsp. 2023].

To co jeszcze dwadzieścia lat temu szokowało w łyżwiarstwie figurowym dzisiaj jest na porządku dziennym i nie byłoby w tym nic nadzwyczajnego, gdyby nie fakt, że kiedyś te szokujące elementy były wykonywane tylko przez dorosłych mężczyzn, a dzisiaj potrafią je już dziesięcioletnie dziewczynki. Skoki poczwórne i trudne wręcz siłowe pozycje równoważne przestały być zarezerwowane dla dorosłych mężczyzn. Trening w łyżwiarstwie figurowym najlepiej zacząć już w wieku 3-5 lat. W USA rozgrywane są zawody dla trzylatków, w Rosji pojawiają się sześciolatki, które skaczą już wszystkie podwójne skoki, a ośmiolatki nawet potrójne. Oczywistym jest więc, iż tak wczesna specjalizacja determinuje konieczność kontroli procesu treningowego na wielu płaszczyznach oraz potrzebę szeroko rozumianych badań. Bezapelacyjnie krajem, który szkoli najlepszych łyżwiarzy figurowych jest Rosja.

Badania mające na celu podwyższenie poziomu łyżwiarstwa figurowego sięgają jeszcze czasów ZSSR. Niestety jednak zdecydowana większość wyników tych badań jest nadal trzymana „pod kluczem” i stanowi tzw. „now how”. Bardzo niewiele badań poświęcono zagadnieniu równowagi i stabilności układu przedSIONKOWEGO w sporcie. Współczesne badania skupiają się przede wszystkim na metodach poprawy równowagi statycznej i dynamicznej u gimnastyczek artystycznych [Agostini i wsp. 2019] oraz ocenie korelacji pomiędzy badaniami równowagi ciała młodych piłkarzy [Sikora 2020]. W łyżwiarstwie figurowym badania naukowe są ukierunkowane głównie na takie tematy, jak rozwijanie zdolności koordynacyjnych [Gubaeva i wsp. 2015], badanie biomechaniczne skoków [Knoll i wsp. 2019] oraz metody doskonalenia techniki rotacji [Ivanova i wsp. 2018]. Analizując współczesną literaturę w obszarze równowagi ciała łyżwiarzy figurowych natknięto się na kilka publikacji głównie związanych z wpływem treningu proprioceptywnego [Saunders i wsp. 2012; Bucsku i wsp. 2019] oraz wpływem czynników budowy ciała czy siły odbicia w wyskoku, lądowania po wyskoku [Yordanova 2020, Yordanova i wsp. 2023] oraz charakterystyki kształtowania równowagi [Osadchenco i wsp. 2017]. Z przytoczonych prac tylko badania Yordanovej były z wykorzystaniem stabilografii. Odmienne cel badań Yordanovej nie pozwala dyskutować z wynikami. Natomiast warto zwrócić uwagę na badania Giemzy i wsp. [2007], którzy zbadali 60 dziewcząt nie uprawiających żadnego sportu oraz 60 dziewcząt uczęszczających przez dwa lata w okresie zimowym na rekreacyjne zajęcia z łyżwiarstwa figurowego. Badane dziewczęta były w wieku 10-11 lat, a autorzy do swych badań wykorzystali metodę stabilografii. Badania Giemzy i wsp. [2007] doprowadziły autorów do wniosku, iż dziewczynki systematycznie uczęszczające na zajęcia z łyżwiarstwa figurowego charakteryzowały się lepszą równowagą w pozycji stojącej niż ich rówieśnice nie uprawiające systematycznie żadnej dyscypliny sportowej. Ponadto, według autorów, główną przyczyną lepszej równowagi statycznej dziewcząt uczęszczających na zajęcia z łyżwiarstwa figurowego, był fakt zmniejszenia powierzchni podparcia wynikający z budowy łyżew składających się ze sztywnych butów i przymocowanych do nich stalowych płóz. Wyniki badań zamieszczone w niniejszej pracy wskazują poprawę parametrów opisujących umiejętność utrzymania równowagi w pozycji standardowej przy dodatkowym utrudnieniu, a więc podczas wzrokowego sprzężenia zwrotnego po roku treningu. Jednakże powierzchnia podparcia, badanych na potrzeby tej pracy kwalifikowanych zawodniczek łyżwiarstwa figurowego, podczas roku szkoleniowego nie zmieniła się, tak więc czynnik ten należy wykluczyć jako element mający wpływ na poprawę parametrów równowagi statycznej. Ponadto wyżej wymienieni autorzy badali dziewczęta uprawiające łyżwiarstwo figurowe rekreacyjnie, sezonowo w niniejszej pracy natomiast grupę badaną stanowią zawodniczki uczestniczące w zawodach, członkinie kadry województwa mazowieckiego, medalistki mistrzostw polski.

## 5. Wnioski

Pomimo znaczącego stażu treningowego badanych zawodniczek łyżwiarstwa figurowego stwierdza się, iż trening istotnie wpłynął na zdolność utrzymania równowagi w pozycji standardowej w warunkach wzrokowego sprzężenia zwrotnego. Wszystkie analizowane parametry charakteryzujące zdolność zachowania równowagi w pozycji standardowej podczas wzrokowego sprzężenia zwrotnego u łyżwiarek figurowych po rocznym cyklu treningowym uległy poprawie ( $p < 0,05$ ). Jednak z uwagi na skąpy zasób literatury oraz ogromne wymagania stawiane przed młodymi zawodnikami, widoczna jest ogromna potrzeba dalszych badań poszerzonych o pozycje specjalistyczne oraz uczulone na procesy nerwowe.

## Piśmiennictwo

- [1] Agostini B., Palomares E., Uchoa F., Andrade R., Deana N., Alves N. *Effectiveness of the conjugate influence method in improving static and dynamic balance in rhythmic gymnastics gymnasts*. Journal of Physical Education and Sport ® (JPES). 2019, Vol 19 (Supplement issue 4), Art 204:1407-1417.
- [2] American Academy of Pediatrics (AAP) *Intensive Training and Sports Specialization in Young Athletes*. Pediatrics. 2000, 106 (1):154-157.
- [3] Bondarevskiy E.Ya. *Otsenka fizicheskoy podgotovlennosti*, Fizkultura i sport, Moskva. 1976.
- [4] Browne J.E., O'Hare N.J. *Przegląd metod badania zdolności utrzymywania równowagi w pozycji stojącej*. Rehabilitacja Medyczna. 2002, VI/1:72-75.
- [5] Bucksu M., Veres-Balajti I. *The effectiveness of proprioceptive training for improving coordination and equilibrium skills among figure skaters*. Hungarian Revive of Sport Science. 2019, 4:7-13.
- [6] Giemza CZ., Ostrowska B., Barczyk K. *Porównanie poziomu równowagi statycznej młodych łyżwiarzy figurowych z ich rówieśnikami, którzy nie uprawiają sportu*. Medycyna Sportowa. 2007, 1(6)/ 23:42-45
- [7] Gubaeva E.E., Mugallimova N.N. *Development of coordination abilities among figure skaters of the elementary training group*. Science and sport modern trends. Word to the young. 2015, 3/8:132-137 (in Russian).
- [8] Held-Ziółkowska M. *Organizacja zmysłowa i biomechanika układu równowagi*. Mag Otolaryngol. 2006, 5:39-46.
- [9] Iwankiewicz S., Pośpiech L., Frączkowski K., Iwankiewicz J. *Sterowanie postawą i równowagą*. W: Biosystemy. WKŁ. 1991, tom. 1:138-158.
- [10] Ivanova K.S., Zayachuk T.V., Mavliev F.A. *Results of approbation of refinement techniques in single skating at the stage of sport specialization*. Science and sport modern trends. 2018, No 3 (20):60-66 (in Russian).
- [11] Juras G. *Koordynacyjne uwarunkowania procesu uczenia się utrzymywania równowagi ciała*. AWF, Katowice. 2003.
- [12] Knoll K., Hildebrand F. *Effective use of angular momentum for rotations about the longitudinal axis – example of quadruple jumps in figure skating*. 37th International Society of Biomechanics in Sport Conference, Oxford, OH, United States. 2019:376-379.

- [13] Kostiukow A., Rostkowska E., Samborski W. *Badanie zdolności zachowania równowagi ciała*. Ann Acad Med Stetin. 2009, 55:102-109.
- [14] Kuczyński M. *Regulacja pozycji pionowej człowieka: od metod oceny do mechanizmów*. Człowiek i Ruch. 2000, 2:34-44.
- [15] Lyussi G., Richards M. *Figurnoe katanie na konkah*. Fizkultura i sport, Moskwa, 1959.
- [16] Nowicki J. *Rola narządu przedsionkowego w układzie równowagi fizycznej ciała*. Pol Przegl Med Lot. 2004, 10:121-134.
- [17] Osadchenco I.V., Cherepanova I.O. *Development of balance and coordination abilities among the young skaters, Olympic games and modern society*. Materials of the IV All-Russian scientific and practical conference with international participation, Malakhovka. 2017:172-178 (in Russian).
- [18] Panin N.A. *Iskusstvo figurista*. Fizkultura i sport, Moskwa. 1956.
- [19] Pisula A. *Wpływ zabiegów krioterapii ogólnej i sauny na stabilność postawy ciała*. Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych III StatSoft Polska. 2008:321-325.
- [20] Saunders N.W., Hanson N.J., Koutakis P., Chaudhari A.M., Devor S.T. *Figure Skater Level Moderates Balance Training*. International Journal of Sport Medicine. 2013, 34(04):345-349.
- [21] Sikora D. *Assessment of the Relationship between Y-Balance Test and Stabilometric Parameters in Youth Footballers* / D. Sikora, M. Pałac, A. Myśliwiec, T. Wolny, P. Linek // Biomed Research International. 2020, (12):5-10. DOI: 10.1155/2020/6968473
- [22] Stupnicki R. *Biometria - krótki zarys*, Warszawa. 2000.
- [23] Yordanova T. *Research on anthropometric factors and balance stability of figure skaters*. Journal of Applied Sports Sciences. 2020, 01/2020:88-98
- [24] Yordanova T, Medvedeva I., Agita A. *Dependencies between indicators of the speed-power and balance stability of figure skaters*. Journal of Physical Education and Sport. 2023, 23(2), 65:525-531.

## Wspomnienia o twórczości Prof. Kazimierza Fidelusa

### Reminiscing about the creative work of Prof. Kazimierz Fidelus

Cz. URBANIK

Akademia Wychowana Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Wydział Wychowania Fizycznego, Katedra Nauk Biomedycznych  
e-mail: czeslaw.urbanik@awf.edu.pl

**Słowa kluczowe:** *naukowiec, twórca biomechaniki, wychowawca, teoretyk sportu*

Pan Prof. dr hab. Kazimierz Fidelus uznawany jest za jednego z ważniejszych twórców biomechaniki w Polsce, szczególnie biomechaniki sportu. O Nim i na Jego temat powstało kilka publikacji [Hądzelek 1979, Urbanik 1999, 1999, 2000, 2010], niemniej nigdzie nie ujęto wszystkich ważnych działań profesora. Niniejsza publikacja także nie ma ambicji ukazania całości osiągnięć, ale ma na celu rozszerzenie wiedzy na temat postaci Profesora Kazimierza Fidelusa.

W małej miejscowości beskidzkiej Zembrzyce, w roku 1928, tuż po północy dnia 1 stycznia w domu Weroniki (z d. Józefiaków) i Michała Fidelus przyszedł na świat syn, któremu nadano imię Kaziu, Kazek, Kazimierz.



**Fot. 1** Profesor dr hab. Kazimierz Fidelus podczas jednego z ostatnich wykładów w czasie XV Szkoły Biomechaniki w Kokotku k. Lubińca, 14-16.09.1998.

Już we wczesnej młodości Kazimierz Fidelus dążył do wiedzy wszelkimi drogami. Wojna przerwała możliwość systematycznej nauki, ale On wykorzystał ten okres do opanowania języka niemieckiego. W 1948 roku ukończył gimnazjum im. Mikołaja Kopernika w Katowicach, po którym rozpoczął naukę w Studium Wychowania Fizycznego przy Wydziale Lekarskim Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Działalność dydaktyczną rozpoczął w 1950 roku w Wyższej Szkole Wychowania Fizycznego w Krakowie jako pomocnik asystenta Katedry Anatomii i Biomechaniki,

będąc słuchaczem II roku studiów. Po roku awansował do stanowiska asystenta a w latach 1955-56 zajmował stanowisko adiunkta.

Stopień zawodowy dyplomowanego nauczyciela wychowania fizycznego uzyskał w 1951 w Uniwersytecie Jagiellońskim, a rok później (1952) tytuł magistra wychowania fizycznego w Wyższej Szkole Wychowania Fizycznego w Krakowie.



**Fot. 2** Kazimierz Fidelus Profesor 1984, doktor habilitowany 1971, doktor 1960, magister 1952.

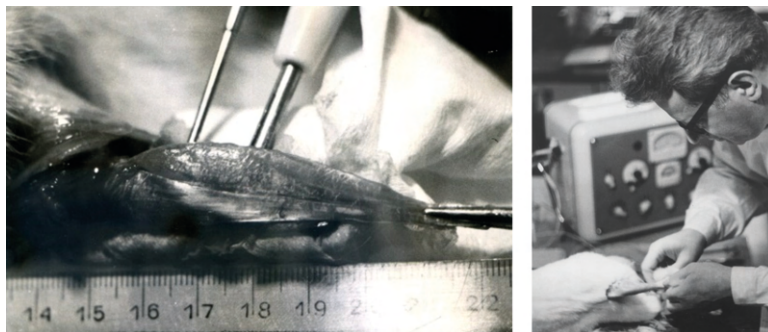
Zainteresowania, które Nim kierowały związane były z biomechaniką, rehabilitacją i ergonomią. W kraju nie było specjalistów z tej dziedziny wiedzy, dlatego oddał się pod opiekę ówczesnych znakomitości naukowych wybierając studia doktoranckie w Państwowym Centralnym Instytucie Kultury Fizycznej w Moskwie 1956-60.

Jego nauczycielami byli m.in. takie sławy jak: N.A. Berstein, D.D. Doński, L.W. Czchaidze, W.S. Gurfinkiel, M.F. Iwanicki i in., zaś przyjaciółmi I.P. Ratow, W.M. Zaciorski, N.I. Wołkow, L.P. Matwiejew.



**Fot. 3** Przyjaciele i współpracownicy w czasie pobytu na studiach doktoranckich w Moskwie, od lewej: Iwanicki, Czchaidze, Fidelus, Gurfinkiel, Ratow, Fidelus, Wołkow, Matwiejew.

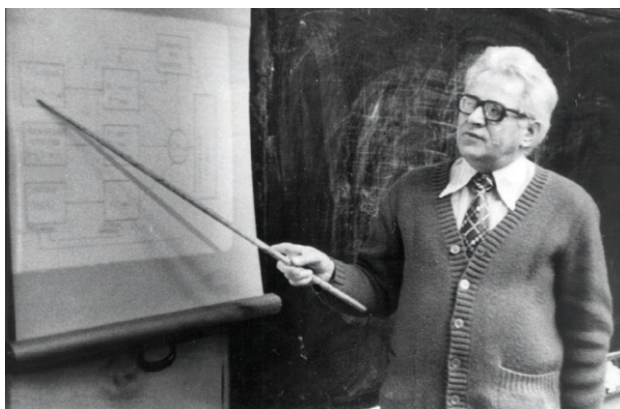
Tam też jako jeden z pierwszych podjął się określenia specyfiki funkcji mięśni dwustawowych uda w podstawowych ćwiczeniach fizycznych, co pozwoliło na ustalenie przyczyn ich uszkodzeń w sprintach i skokach lekkoatletycznych. Na tej podstawie obronił dysertację na stopień kandydata nauk biologicznych (odpowiednik doktora w Polsce), która dotyczyła „Funkcji dwustawnych myszce biedra w sportywnych uprażnienijach”. Jego promotorem był Profesor M.F. Iwanicki, a recenzentami N.A. Bernstein i W.S. Gurfinkiel.



**Fot. 4** Doktor Kazimierz Fidelus podczas badań zależności pomiędzy rozwijaną siłą a długością męśni szkieletowych oraz określenia funkcji mięśniowych.

W czasie studiów doktoranckich (1955-1960) w Instytucie Kultury Fizycznej w Moskwie kształtowała się Jego pracowitość, systematyczność, cierpliwość naukowa. To tam nawiązał ścisłą współpracę z przedstawicielami nauk ścisłych zwłaszcza z zakresu miernictwa.

Po obronie pracy doktorskiej w 1960 roku wraca do Krakowa, gdzie jako pierwszy w Polsce prowadzi wykłady z biomechaniki ćwiczeń fizycznych.



**Fot. 5** Profesor dr hab. Kazimierz Fidelus podczas jednego z wykładów dla studentów wychowania fizycznego w Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie.

Skuszony propozycją pracy w stolicy przenosi się do Warszawy, gdzie w Akademii Wychowania Fizycznego prowadzi ćwiczenia i seminaria magisterskie jako adiunkt w Katedrze Anatomii i Biomechaniki.

W 1963 roku ówczesny Rektor AWF Profesor Stefan Wołoszyn powierza Mu opracowanie programu nauczania w postaci tematyki wykładów, ćwiczeń i seminariów z teorii sportu, desygnując jednocześnie na kierownika Zakładu Teorii Sportu w latach 1963-71. Był to pierwszy w Polsce i prawdopodobnie pierwszy w Europie program nauczania teorii sportu.

Jako podsumowanie tej części pracy zorganizował jedno z najważniejszych spotkań naukowców zajmujących się teorią i biomechaniką sportu „Symposium

Teorii Techniki Sportowej”, które odbyło się w Warszawie 26-28 listopada 1968 roku. Do Komitetu Organizacyjnego zaproszeni byli m.in. Wiceprzewodniczący GKKFiT mgr J. Rutkowski, Rektor AWF prof. S. Wołoszyn, prof. T. Dzierżykraj-Rogalski, Dziekan doc. dr R. Trześniowski, Przewodniczący Rady Naukowej INKF prof. R. Wroczyński, dyrektor Departamentu Wychowania Fizycznego i Sportu GKKFiT mgr B. Ryba.

Uroczystego otwarcia Sympozjum dokonał Rektor AWF Prof. Stefan Wołoszyn podkreślając, że (cyt.) „Zagadnienia teorii techniki sportowej są szczególnie żywymi zagadnieniami dzisiaj, kiedy sport, zwłaszcza sport wysoko kwalifikowany, stał się tak znamiennym zjawiskiem w skali światowej. Sympozjum stawia sobie za zadanie w gronie najlepszych specjalistów zaprezentować i przedstawić problemy metod badawczych w zakresie techniki sportowej, cech motorycznych i koordynacji nerwowo-mięśniowej”.

Sympozjum skupiło uwagę na trzech głównych zagadnieniach: (cyt.)

1. Kinematograficzne i mechaniczne metody rejestracji ruchu,
2. Współzależności między techniką ruchu a cechami motorycznymi,
3. Kompleksowe badania struktury i koordynacji ruchu.

Rektor AWF Prof. S. Wołoszyn zapowiedział, że (cyt.) „Poprzedzi obrady referat programowy doc. dra Kazimierza Fidelusa, kierownika Zakładu Teorii Sportu Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie, na temat „Miejsce i znaczenie techniki ruchu w teorii sportu”.

W dalszej części obrad referaty wygłosili takie znakomitości ówczesnego świata nauki, jak: prof. G. Hochmuth, dr W. Gutewort, dr G. Marchold z Niemiec, doc. W. Zaciorski, doc. D. Doński, prof. J.W. Czaidze z Związku Radzieckiego oraz spore grono polskich naukowców, którzy tworzyli zręby teorii sportu i biomechaniki, jak: doc. K. Fidelus, dr T. Bober, doc. A. Kabsch.

Od początku pracy w Warszawie nawiązał ścisłą współpracę z Politechniką Warszawską, a szczególnie wówczas doktorami a później z profesorami A. Moreckim i J. Ekiem, której owocem jest wielość wspólnych publikacji, patentów, konstrukcji prototypowych, a także wieloletnia przyjaźń. Wówczas powstało, słynne już, równanie udziału mięśni w statyce, które pozwala na wyliczenie wartości siłowych mięśni przy zadanych: strukturze, naprężeniu, parametrach geometrycznych mięśni i ich potencjałach mioelektrycznych.

$$M_m = \delta \sum_{i=1}^{i=n} p_i \frac{U_i}{U_{i \max}} r_i(\alpha) \left\{ \frac{F_i}{F_{i0}} \left[ \frac{L_i}{L_{i0}}(\alpha) \right] \right\}$$

gdzie:

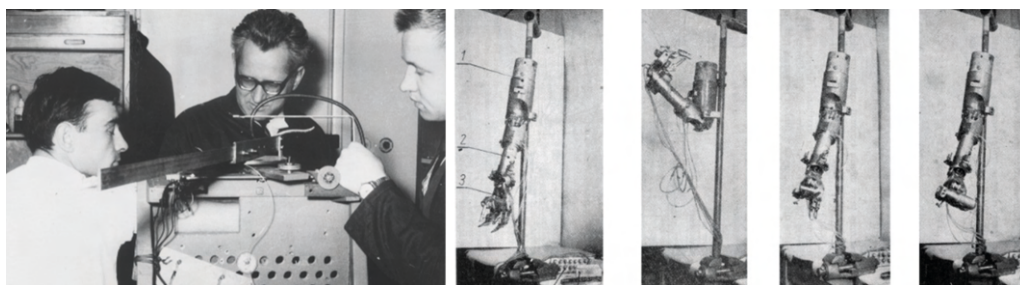
- $\sigma$  - naprężenie mięśnia N/cm<sup>2</sup>,
- p - przekrój fizjologiczny mięśnia cm<sup>2</sup>,
- U - stopień pobudzenia, napięcie mięśni  $\mu$ V, mV,
- r - ramię działającej siły mięśniowej m,
- $\alpha$  - kąt w stawie °,
- F - siła mięśniowa przy danej długości N,
- L - długość mięśnia m.

Równanie to umożliwia obliczenie sił i momentów sił poszczególnych mięśni  
(*Some biomechanical principles of muscle cooperation of the upper extremities. Biomechanics, I.S.Karger, Basel-New York 1968*).



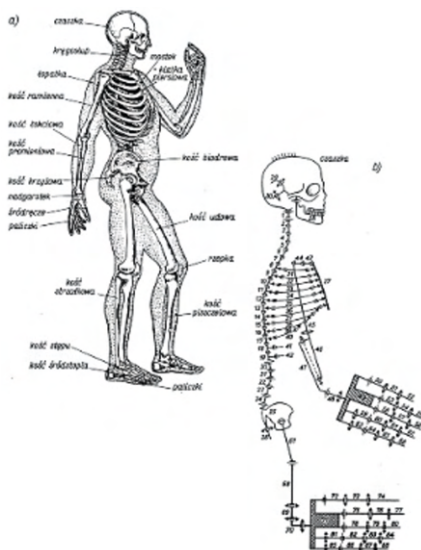
**Fot. 6** Wielcy przyjaciele i współpracownicy naukowcy, twórcy biomechaniki w Polsce:  
Prof. dr Adam Morecki i prof. dr hab. Kazimierz Fidelus.

Już wówczas wokół jego osoby zaczęli się gromadzić chętni do dobrej systematycznej pracy. Stworzył zespół naukowy, który zapoczątkował publikacje związane z biomechaniką sportu. Jego osobistym sukcesem była rozprawa habilitacyjna „*Biomechaniczne parametry kończyn górnych człowieka*” obroniona w 1971 roku w Akademii Wychowania Fizycznego w Warszawie. Jak pisał sam Autor (cyt.) „*główna tematyka tej rozprawy wynika przy współpracy z zespołem biocybernetycznym, który prowadził prof. dr inż. Adam Morecki w Politechnice Warszawskiej. Wieloletnia współpraca w zespole umożliwiła mi wykorzystanie metod teorii maszyn i mechanizmów oraz miernictwa w prowadzonych badaniach biomechanicznych kończyn górnych*”. W rozprawie tej dokonano klasyfikacji liczbowej stawów i mięśni, wprowadzając określenia funkcji aktonów mięśniowych jako składowych momentów sił. Dane te pozwoliły na ilościową analizę porównawczą rozkładu napędów kończyn ssaków, wykorzystaną do prototypowej konstrukcji kończyn, protez, aparatów ortopedycznych.



**Fot. 7** Podczas badań mechanizmów potrzebnych do budowy robotów i manipulatorów kończyny górnej: od lewej dr Pańniczek, dr Fidelus, dr Ekiel.

Badania parametrów strukturalnych układu ruchu człowieka pozwoliły na opracowanie biomechanicznego modelu, który uwzględniał ruchliwość poszczególnych par biokinematycznych.



**Fot. 8** Biomechaniczny model strukturalny układu kostno-stawowego, opracowany przez Moreckiego, Ekiela i Fidelusa.

Opracowanie modelu biomechanicznego układu ruchu pozwoliło na przyjmowanie założeń badawczych w zależności od konkurencji czy dyscypliny, którą chcemy badać pod względem parametrów kinetycznych i kinematycznych.

Podczas inauguracji roku akademickiego 1971/72 ówczesny Rektor doc. dr Tadeusz Ulatowski wręczył dr Kazimierzowi Fidelusowi dyplom doktora habilitowanego, a problematyka opisana w Jego habilitacji była podstawą wykładu inauguracyjnego.



**Fot. 9** Wręczenie dyplomu doktora habilitowanego nauk o kulturze fizycznym oraz wykład inauguracyjny w roku akademickim 1971-72. Od lewej: Rektor doc. dr Tadeusz Ulatowski, prof. dr hab. Halina Milicerowa, dr hab. Kazimierz Fidelus, dr Andrzej Mazur, dr Ryszard Przewęda.

Cztery lata później (1975) Rada Państwa nadała Kazimierzowi Fidelusowi tytuł profesora nadzwyczajnego, a w 1984 profesora zwyczajnego nauk wychowania fizycznego w zakresie biomechaniki.

W roku 1971 kierowanie Zakładem Teorii Sportu przejął Rektor, doc. Tadeusz Ulatowski, zaś doc. Kazimierz Fidelus zastał kierownikiem Pracowni Biomechaniki (1971-74), którą wyodrębniono z Katedry Anatomii i Biomechaniki (kierowanej przez Panią Prof. dr med. Hannę Szukiewicz). W roku akademickim 1974-75 powołano odrębny Zakład Biomechaniki, na czele którego stał doc. dr hab. Kazimierz Fidelus, a adiunktami byli dr Lechosław Skorupski i dr Andrzej Wit zaś asystentami mgr inż. Elżbieta Kubaś, mgr Andrzej Goluch, mgr Leon Lech.

Dotychczasowa działalność naukowa zespołu bardzo mocno związana była ze sportem, a także z badaniami podstawowymi. Na potrzeby tej działalności zorganizowano na ówczesne czasy, najnowszą aparaturę pomiarową do badań elektromiograficznych, tensometrycznych, wytrzymałościowych, oznaczanie położenia środka ciężkości ciała, pomiaru momentów sił mięśniowych w wybranych stawach czy prędkości ruchu w funkcji obciążenia zewnętrznego. To ostatnie urządzenie badawcze było opracowane w zespole razem z naukowcami DDR podczas trzymiesięcznego stażu dr K. Fidelusa w Katedrze Biomechaniki DHfK w Lipsku. Opublikowano pracę: Fidelus K., Stache H.J., Schille B. (1966) *Znaczenie elektromiograficznego badania mięśni dla treningu siłowego. Wychowanie Fizyczne i Sport. X.!: 67-81*. Podjęto w niej próbę weryfikacji prawa A.V.Hilla, który w swoich badaniach przeprowadzonych na izolowanych włóknach mięśniowych ustalił zależność funkcyjną  $v(P)$ . Autorzy tej pracy postawili pytanie, czy ta zależność ma ten sam charakter dla mięśni szkieletowych człowieka *in vivo*. Rejestrowana podczas badań siła i prędkość wywołana przez zespoły mięśniowe zginaczy i prostowników stawu kolanowego pozwoliła na utworzenie zależności, w określonych granicach rozrzutu, jako liniową, którą można wyrazić w ogólnej formie:

$$V = a - b F$$

gdzie: a, b są stałymi współczynnikami siły i prędkości.

Wyniki tych badań uzasadniają, że do rozwinięcia maksymalnej prędkości potrzebne jest pewne obciążenie. Natomiast maksymalne wartości napięcia mięśni (EMG) są takie same lub bardzo zbliżone dla obciążenia w granicach 50-100% podczas rozwijania maksymalnej prędkości dla danego obciążenia oraz nie obniżają się także w przypadku gdy prędkość ruchu jest ujemna (ekscentryczny charakter pracy mięśniowej).

Profesor dr hab. Kazimierz Fidelus jest autorem lub współautorem 27 monografii i rozpraw naukowych, 8 podręczników i skryptów oraz ponad 150 artykułów naukowych. Do najcenniejszych należy zaliczyć powstałe w ścisłej współpracy z pracownikami Politechniki Warszawskiej, a szczególnie z Prof. A. Moreckim i Prof. J. Ekiem. Są to *Bionika Ruchu* wydana przez PWN w 1971 roku oraz *Cybernetyczne*

systemy ruchu kończyn zwierząt i robotów wydana przez PWN w 1979 roku i przetłumaczona na język angielski w 1984 roku.

Wspólnie ze znakomitym dydaktykiem AWF dr J. Kocjaszem usystematyzował ćwiczenia wydając *Atlas ćwiczeń fizycznych*, który przetłumaczono na języki: niemiecki, francuski i hiszpański. Podstawą tej pozycji były szeroko zakrojone elektromiograficzne badania pracy mięśni w poszczególnych ćwiczeniach gimnastycznych. Był jednym z pierwszych badaczy, który wprowadził na grunt sportu elektromiograficzną metodę pomiaru napięcia mięśni. To On opracował oryginalny współczynnik ( $U_i/U_{max}$ ), który określa wielkość napięcia mięśni jako wartość porównywalną w dowolnych warunkach pomiarowych.

Profesor K. Fidelus nie poprzestaje na teoretycznych rozważaniach czy tworzeniach teorii naukowych. Na gruncie sportu udowadnia możliwość jednolitego pomiaru wysiłku fizycznego, obciążeń treningowych, cech fizycznych i techniki ruchu w jednostkach mechaniki [Fidelus K. 1974] *Propozycja jednolitego pomiaru obciążeń treningowych. Sport Wyczynowy*, Fidelus. K., Skorupski L., Wit A. [1975] *On optimisation of sport effort during a training. Biomechanics V-B 1975*, Fidelus K., Urbanik C. [1993] *Relationship between the training power, work, rest periods and the increase of the muscular torque. XIV<sup>th</sup> Congress of Biomechanics Paris*). Dotychczas te parametry były albo szacowane albo mierzone niejednolicie, co utrudniało badania zależności rezultatu sportowego od tych zmiennych adaptacyjnych jako kumulatywny efekt potreningowy.

Znaczącą częścią osiągnięć naukowych prof. K. Fidelusa były badania związane ze sprzętem sportowym. Do tych należy zaliczyć badania stopnia amortyzacji siły uderzenia rękawic bokserskich. Wspólnie z dr. L. Skorupskim i dr. W. Nowakiem (późniejszym trenerem kadry narodowej w boksie) opracowali podstawy technologiczne do produkcji rękawic bokserskich o możliwie największej amortyzacji. Wyprodukowane według Ich wskazówek rękawice (20 par) przez wiele lat służyły zawodnikom kadry podczas treningów na zgrupowaniach. Jak zapewniał dr W. Nowak, zawodnicy używający tych rękawic doznawali znacznie mniej kontuzji stawów ręki, w stosunku do tych, którzy trenowali w standardowych rękawicach.



**Fot. 10** Grupa nauczycieli akademickich podczas badań amortyzacji rękawic bokserskich: od lewej dr Lechosław Skorupski, dr Kazimierz Fidelus, dr Wiktor Nowak.

Dla potrzeb studentów AWF napisał pierwszą część podręcznika *Biomechanika ćwiczeń fizycznych*, w którym przybliżył najistotniejsze zagadnienia dotyczące możliwości ruchu. Wychodzi z założenia, że wszelką działalność człowieka można opisać poprzez obieg energii i informacji, a ich nośnikiem jest masa.

W ostatnich latach jego pasją naukową stało się określenie rozkładu wartości sił rozwijanych przez rękę w przestrzeni roboczej. Osiągnięcie innowacyjne polega na charakterystyce zmian momentów sił w funkcji kątów stawów ramiennych i łokciowych, co pozwala wyliczyć wartości sił rozwijanych przez rękę, zamiast kilkuset pomiarów tych sił w przestrzeni roboczej (Fidelus K., Ostrowska E., Grudniak K., Mastalerz A., Tokarski T., Garbacki R., Sobolewski A., Wiatr R.: *Wartości momentów sił prostowników i zginaczy w funkcji stawu ramiennego* a także tych samych autorów *Wpływ zmian kąta w stawie ramiennym na wartości momentów sił w stawie łokciowym*. XII Szkoła Biomechaniki, Prace Naukowe Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. Nr75 1994).

Swoją głęboką wiedzę anatomiczną oraz znajomość sportu poparte znajomością mechaniki wykorzystał do konstrukcji prototypowych urządzeń stosowanych w medycynie i sporcie. Ponownie przy współpracy szczególnie profesora A. Moreckiego jest współautorem aparatów ortopedycznych kończyn górnych, stymulatorów wszczepianych do długotrwałego sterowania porażonych kończyn czy też bioprotez kończyn górnych. Dla celów dydaktyki i badań biomechanicznych w sporcie skonstruował stosowane powszechnie urządzenia do pomiaru momentów sił mięśniowych w głównych stawach człowieka oraz do pomiaru zależności pomiędzy siłą i prędkością mięśni w głównych stawach kończyn.

Możliwość wpływania na kierunki własnego rozwoju naukowego oraz podległych Mu osób związana była z szeregiem funkcji pełnionych w uczelniach i instytutach. Najdłużej zajmował stanowisko Kierownika Zakładu w AWF Warszawa (Teorii Sportu 1963-71, Biomechaniki 1971-1976, 1982-1984 oraz 1986-1998). W latach 1976-81 był organizatorem i dyrektorem Międzyuczelnianego Instytutu Naukowego Sportu (1976-77), a później Instytutu Sportu (1978-81) pełniąc w nim jednocześnie funkcję Kierownika Zakładu Biomechaniki (1976-84). Ponadto był prodziekanem (1968-70), z-cą dyrektora (1971-75) i dyrektorem (1975-76) Instytutu Nauk Biologicznych AWF Warszawa. Jest także twórcą Laboratorium Biomechaniki w Politechnice Radomskiej.

Jego olbrzymie osiągnięcia naukowe i organizacyjne dostrzeżone zostały przez Polską Akademię Nauk, w której był członkiem Komitetu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej oraz Komitetu Nauk o Kulturze Fizycznej. Przez dwie kadencje zasiadał w Centralnej Komisji Kwalifikacyjnej d/s Kadr Naukowych.

Na arenie międzynarodowej był członkiem współzałożycielem Międzynarodowego Towarzystwa Biomechaniki (ISB), którego 2 kadencje był członkiem Executive Council (zarządu). Zaszczycu tego doczekało się jak do tej pory tylko dwu Polaków: Prof. dr hab. Kazimierz Fidelus i dr Andrzej Komor. Na ponad

200 członków Francuskiej Societe de Biomechanique był wśród 6 obcokrajowców jako Honorowy Członek tego Towarzystwa.

Doceniając Jego wiedzę i doświadczenie był zapraszany do wygłoszenia wykładów w wielu krajach Europy. To tylko niektóre z nich:

- 1964 Cykl wykładów i seminariów w Deutsche Hochschule fur Korperkultur w Lipsku (3 miesiące);
- 1965 3 wykłady na Wszechzwiązkowej Konferencji Doskonalenia Kadr Biomechaniki w Moskwie (7 dni);
- 1973 Cykl wykładów na kursie trenerów lekkoatletycznych w Uniwersytecie Oviedo (Hiszpania, 10 dni);
- 1975 Wykłady dla studentów Narodowego Instytutu Wychowania Fizycznego w Madrycie (20 dni);
- 1975 *Biomechaniczne podstawy treningu lekkoatletycznego*, wykłady w INEF w Barcelonie (10 dni)
- 1977 Wykłady w Deutsche Sporthochschule w Kolonii (7 dni);
- 1979 20 godzin wykładów w Instytucie Wychowania Fizycznego i Sportu w Paryżu;
- 1982 *Biomechaniczne kryteria oceny techniki w grach zespołowych*, wykład na konferencji przed Mistrzostwami Świata w piłce nożnej w Barcelonie;
- 1984-86 Dwuletni cykl wykładów z biomechaniki i antropologii w Uniwersytecie Algierskim.

Zasiadał w kilkunastu radach naukowych m.in. Centralnego Ośrodka Techniki Medycznej, Instytutu Badań nad Młodzieżą, Zrzeszenia Spółdzielni Inwalidów, Centralnego Instytutu Ochrony Pracy, był Członkiem Komitetu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej PAN, Członkiem Komitetu Nauk o Kulturze Fizycznej PAN.

Był powoływany do Komitetów Naukowych redakcji pism naukowych (Biology of Sport, Wychowanie Fizyczne i Sport), był praktycznie etatowym członkiem Komitetów Naukowych wszystkich Konferencji i Szkół biomechaniki jakie odbyły się w Polsce. Sam zorganizował w 1968 roku Międzynarodowe Sympozjum Teorii Techniki Sportowej, w którym uczestniczyło 33 przedstawicieli 6 państw.

W 1979 roku wspólnie z Prof. A. Moreckim, dr K. Kędziorem i dr A. Witem zorganizował jedyny w Polsce Międzynarodowy Kongres Biomechaniki (400 uczestników z całego świata) pod patronatem ISB.

Dwukrotnie podjął się organizacji Szkoły Biomechaniki w 1988 i 1997 roku, ocenianych przez uczestników bardzo wysoko.

W 1987 roku był założycielem Sekcji Biomechaniki przy Polskim Towarzystwie Naukowym Kultury Fizycznej, która wyprzedziła powstanie Polskiego Towarzystwa Biomechaniki (PTB) afiliowanego przy Międzynarodowym Towarzystwie Biomechaniki (ISB). W latach 1992-1996 profesor Kazimierz Fidelus był Prezesem PTB.

Kierował kilkunastoma programami badań naukowych od Centralnych począwszy, po badania własne Uczelni. Do najważniejszych należy zaliczyć:

- 1970-75 Problem Węzłowy 9,8. *Układ nerwowy oraz systemy i elementy biocybernetyczne;*
- 1970-75 Problem Węzłowy 10.1.4. Temat 02.11: *Aparat ortopedyczny kończyn górnych,* i 02.12: *Bioproteza kończyn górnych amputowanych powyżej stawu łokciowego;*
- 1976-80 Koordynator problemu resortowego 105: *Efektywność treningu, walki sportowej i procesów odnowy;*
- 1978-80 Kierownik zadania 105-06-21: *Zależność między obciążeniem treningowym a poziomem cech fizycznych;*
- 1977-85 Koordynator Wielostronnej Współpracy Krajów Socjalistycznych w zakresie nauk o kulturze fizycznej i sporcie. Kierownik Problemu Nr 5, *Biomechaniczne, aparaturowe i informacyjne zabezpieczenie w sporcie;*
- 1980-84 Kierownik Tematu Problem Węzłowy 10.7.X.3 *Poszukiwanie związku między przyrostami siły i szybkości mięśni a charakterem metod treningowych;*
- 1986-90 Kierownik CPBP 08.16.III.7.1. i 7.2. *Wpływ mocy ćwiczeń fizycznych i czasu przerw odpoczynkowych na potencjał dynamiczny człowieka;*
- 1988-89 Kierownik problemu badawczego IWP: *Klasyfikacja sprawności fizycznej inwalidów poruszających się na wózku inwalidzkim;*
- 1992-94 Kierownik problemu badawczego CIOP PBZ 0001/S4/92: *Zależność między momentami sił mięśniowych a położeniem kątowym w stawach ramiennym i łokciowym;*
- 1995-97 Kierownik problemu uczelnianego 1290/12/b Politechnika Radomska: *Ocena sprawności fizycznej za pomocą testów i parametrów biomechanicznych człowieka;*
- 1995-97 Kierownik problemu uczelnianego DS.-15: *Efektywność treningu siły mięśni w warunkach statyki i dynamiki;*
- 1998 Kierownik pracy badawczo rozwojowej 04.11.7: *Wartości sił mięśni w stawach kończyn i tułowia w populacji polskiej: w ramach strategicznego programu rządowego (SPR-1).*

Olbrzymia wiedza z zakresu biomechaniki oraz znakomita znajomość języków obcych (rosyjskiego, niemieckiego, angielskiego, francuskiego) była przepustką do serii wyjazdów na wykłady i kongresy. Uczestniczył w 8 Międzynarodowych Kongresach Biomechaniki przedstawiając pozytywnie przyjęte wyniki swoich badań. Zapraszany był na wykłady do Francji, Hiszpanii, Rosji i Czechosłowacji. Przez 2 lata był wykładowcą Uniwersytetu w Algierze. Wykładał także w DHFK Lipsk, zaproszony jako Gastdozent.

Profesor K.Fidelus swoją wiedzą, doświadczeniem, koncepcją, dzielił się z otaczającymi go osobami. Wypromował 21 doktorów (w tym 4 obcokrajowców):

- 1973 Andrzej Wit, Vasile Dumitrescu (Rumunia),  
1974 Konstanty Pawlikanec, Henryk Kania,  
1975 Zbigniew Trzaskoma, Zbigniew Zaremba, Zdzisława Pińczykowska, Ryszard Teperek,  
1976 Bohdan Petrowicz,  
1977 Adrian Gagea (Rumunia), Osamu Ubukata (Japonia),  
1978 Marek Śliwiński, Ryszard Kopański,  
1980 Andrzej Goluch,  
1984 Czesław Urbanik,  
1987 Roman Pękalski, Hocine Roubi (Algieria),  
1988 Marek Kruszewski,  
1992 Krzysztof Buśko,  
1997 Andrzej Mastalerz, Tomasz Tokarski.

Około 80 magistrów i 40 dyplomantów. Przy Jego wielkiej pomocy i współpracy Jego uczniowie uzyskali stopnie doktora habilitowanego: A. Wit i Cz. Urbanik, Z. Trzaskoma, K. Buśko, J. Gajewski, A. Mastalerz, M. Wychowański. Wszyscy są jego wychowankami od początku swojej kariery zawodowej lub współpracowali z Nim w znacznej części swojej pracy naukowej. Na ukończeniu była także habilitacja dr. Lechosława Skorupskiego, która nie została ukończona z powodu jego przedwczesnej śmierci. Trzech Jego wychowanków uzyskało tytuł profesora (A. Wit, Cz. Urbanik, A. Mastalerz).

W różnych okresach przebywali na stażu u Profesora K.Fidelusa m.in. W. Kuźniecowa (Moskwa), W. Krjażew (Moskwa), W. Murawow (Moskwa), P. Fałajew (Mińsk), E. Arbeit, E. Bothmischel (Lipsk), A. Romanaucki (Berlin), V. Dumitrescu, A. Gagea (Bukareszt), T. Morow (Sofia) oraz T. Tworzydło, T. Bober, S. Kornecki, T. Ruchlewicz, G. Prus, W. Erdmann, E. Zeyland-Malawka, J. Jaszczuk i in.

W czasie 50 letniej pracy zawodowej udzielił kilkunastu wywiadów dla prasy, radia i telewizji, za każdym razem propagując osiągnięcia biomechaniki w Polsce. Był powoływany przez sądy jako ekspert do zbadania różnych przypadków związanych z oddziaływaniem sił na ciało człowieka, które prowadziły do śmierci lub kalectwa osób poszkodowanych.

Kazimierz Fidelus był wielokrotnie odznaczany:

- 15.09.1971 Srebrna odznaka zasłużonego Działacza KF,  
24.09.1973 Złoty Krzyż Zasługi,  
16.07.1977 Nagroda Prezesa GKKFiT,  
09.09.1977 Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski,  
26.06.1979 Złota odznaka zasłużonego Działacza KF,  
22.07.1984 Medal 40-lecia Polski Ludowej,  
07.06.1993 Medal Komisji Edukacji Narodowej.

To tylko niektóre z olbrzymiej liczby osiągnięć Pana Profesora Kazimierza Fidelusa. Wymienienie wszystkich jest niemożliwe. Niektórych nie da się ująć

w postaci liczb czy słów. Dlatego za wszystko czego dokonał Profesor Kazimierz Fidelus jako współtwórca biomechaniki w Polsce, a na pewno twórca i ojciec biomechaniki sportu należą Mu się najserdeczniejsze podziękowania od wszystkich, którzy związani byli i są z tą nauką.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Hądzelek K. *Powstanie i rozwój Wychowania Fizycznego w Warszawie*. Wychowanie Fizyczne i Sport, 1997, XXIII.3:69-70.
- [2] Urbanik Cz. *Kazimierz Fidelus (1928-1998) – A teacher, a tutor, and a scientist*. Biology of Sport, 1999, 16.1:69-72.
- [3] Urbanik Cz. *Profesor Kazimierz Fidelus nie żyje*. Wiadomości z Uczelni pod laskiem, 1999, Rok IV 1:26.
- [4] Urbanik Cz. *Kazimierz Fidelus (1928-1998)*. Słownik Biograficzny Pracowników CIWF i AWF, 2000, Tom II. :20-23.
- [5] Urbanik Cz. *Zakład Biomechaniki*. W red. Hądzelek K., Zuchora K. Księga Pamiątkowa. Akademia Wychowania Fizycznego w Warszawie, 2010, 1029/30-2029/2010:171-179.

**ISBN 978-83-67228-39-8**