

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
IM. JERZEGO KUKUCZKI W KATOWICACH

Marcin Kantor

**WPLYW WYSIŁKU FIZYCZNEGO NA PROFIL
SIŁOWO–SZYBKOŚCIOWY SIATKARZY**

Rozprawa doktorska

Promotor:
dr hab. Kajetan Słomka prof. AWF Katowice

Katowice, 2021

Spis treści

Wstęp.....	4
1. Wprowadzenie teoretyczne do problematyki badawczej.....	6
1.1. Siatkówka wymogi techniczno-taktyczne oraz charakterystyka motoryczna dyscypliny.....	6
1.2. Motoryczność człowieka a zdolności koordynacyjne	8
1.3. Wyskok pionowy jako test diagnostyczny	15
1.4. Zakłócenia wzorca wyskoku pionowego.....	18
1.5. Zależności generowania siły w stosunku do szybkości ruchu.....	20
2. Cel pracy i pytania badawcze i hipotezy.....	28
2.1. Pytania badawcze	28
2.2. Hipotezy badawcze.....	28
3. Materiał i metody.....	29
3.1. Materiał badawczy	29
3.2. Metody badawcze.....	30
3.3. Procedury obliczeniowe i metody statystyczne.....	34
4. Wyniki.....	36
4.1. Porównanie profilu siłowo-szybkościowego wyskoku pionowego w grupie zawodników i kontrolnej.	36
4.2. Wpływ wysiłku fizycznego na zmianę wartości parametrów pracy mięśni.....	42
4.3. Wpływ zadania w postaci submaksymalnych wyskoków o zadanej wysokości na profil siłowo-szybkościowy	51
4.4. Porównanie dwóch metod oceny mocy maksymalnej.....	59
5. Dyskusja.....	64
6. Wnioski	73
Bibliografia.....	74
Spis rycin:.....	85
Spis tabel:	87
Aneks.....	89
Streszczenie.....	93
Summary	95

Spis skrótów przyjętych w pracy

CMJ (countermovement jump) – wyskok z fazą zamachu

SJ (ang. squat jump) – wyskok z półprzysiadu

F-V (ang. force-velocity) – siłowo-szybkościowy

F - siła

V - szybkość

P - moc

Pmax – maksymalna moc w fazie koncentrycznej

Pmean – średnia moc w fazie koncentrycznej

Fmax – siła maksymalna

F0 – siła maksymalna odczytana z profilu siłowo-szybkościowego

Fmean – średnia siła fazy koncentrycznej

Vmax – szybkość maksymalna

V0 – szybkość maksymalna odczytana z profilu siłowo-szybkościowego

Vmean – średnia szybkość fazy koncentrycznej

HJ (ang. high jump) – wysokość wyskoku

Hpo – głębokość fazy zamachu podczas wyskoku

WR – współczynnik różnicowania

PO – po wysiłku

PW – przed wysiłkiem

CUN – centralny układ nerwowy

OSC – ogólny środek ciężkości ciała

COP (central of pressure) – położenie środka nacisku stóp

1RM (ang. – one repetition maximum) – jedno powtórzenie maksymalne

PU – przedział ufności

Wstęp

Postęp technologiczny w badaniach naukowych znacząco zwiększył możliwości poznawcze dotyczące wielu obszarów działalności człowieka. Niezaprzeczalnym jest, że ruch jest jednym z najważniejszych obszarów jego aktywności, przy czym byłaby on niemożliwy gdyby nie praca mięśni. Ich budowa i wzajemnie uzupełniające się funkcjonowanie jest relatywnie dobrze poznane dzięki coraz to lepszym i bardziej wyrafinowanym metodom badawczym. Działanie mięśni jest możliwe m.in. dzięki sprawnemu zarządzaniu przez centralny oraz obwodowy układ nerwowy. Grupy mięśni pracują synergistycznie (zapoczątkowują ruch) lub antagonistycznie (ich działanie polega na ograniczeniu skutków synergistów), które wytwarzają siły w złożonym układzie, gdzie zarówno pobudzenie nerwowe poszczególnych mięśni, jak i ich długość ciągle zmieniają się w trakcie przebiegu ruchu. Mięśnie pozostają jedyną tkanką zdolną do produkcji siły i są kontrolowane przy pomocy centralnego układu nerwowego, a ich praca rzadko odbywa się w sposób wyizolowany. Tym samym kluczowe wydaje się zrozumienie interakcji pomiędzy grupami mięśni uczestniczących w wykonywanym ruchu. Poznanie i zrozumienie zależności ich oddziaływania na siebie w złożonych, wielostawowych ruchach oraz zasad kontroli może przyczynić się do polepszenia rezultatów treningu sportowego oraz rehabilitacji. Wśród wielu czynności ruchowych wyskok pionowy stanowi podstawę wielu rozważań na temat działania aparatu mięśniowego i zależności w obrębie złożonych ruchów wielostawowych. Czynność ta także powszechnie wykorzystywana jest w diagnostyce siły i mocy zawodników wielu dyscyplin sportowych.

Jednym ze sposobów poznania wspomnianego działania aparatu mięśniowego jest obserwacja przejawów kinestetycznego różnicowania. Najczęściej wykorzystanie wyskoku pionowego podczas treningów i rywalizacji sportowej nie jest związane z generowaniem maksymalnych wartości parametrów siły i szybkości. Zazwyczaj podczas walki sportowej zawodnik musi różnicować wysokość swojego wyskoku dostosowując ją do warunków panujących na boisku np. wysokość zagranej piłki, rozmieszczenie innych uczestników gry. Niestety literatura przedmiotu nie przedstawia opisów zmiany profilu siłowo-szybkościowego podczas wykonywania zadań o założonym, submaksymalnym charakterze. Byłoby to kolejnym krokiem w kierunku zrozumienia kontroli naszego układu mięśniowego przez centralny układ nerwowy.

Współcześnie liczne badania naukowe skupiają się także wokół problemu zależności generowanej maksymalnej siły do szybkości skurczu mięśnia (Jaric 2015). Liczne doniesienia wskazują na liniową zależność tych parametrów w trakcie wykonywania funkcjonalnych, wielostawowych ruchów (Abderrehman i wsp. 2001; Cuk i wsp., 2014; Jaskólska i wsp. 2007; Morin i wsp. 2010; Sheppard i wsp., 2008). W obszarze wiedzy na temat wpływu wysiłku fizycznego na profil zależności generowanej maksymalnej siły do szybkości istnieje spory deficyt. Z punktu widzenia sportu wyczynowego ma to niebagatelne znaczenie i wiedza na ten temat może przyczynić się do dalszego wzrostu poziomu sportowego zawodników w dyscyplinach siłowo-szybkościowych i siłowo-wytrzymałościowych.

Mając na uwadze powyższe, celem głównym niniejszej pracy jest zbadanie wpływu wysiłku fizycznego i celowo obniżonego wysiłku siłowego w wyskoku pionowym na profil siłowo-szybkościowy siatkarzy.

1. Wprowadzenie teoretyczne do problematyki badawczej

1.1. Siatkówka wymogi techniczno-taktyczne oraz charakterystyka motoryczna dyscypliny

Siatkówka jest sportem olimpijskim od roku 1964, kiedy impreza ta była organizowana w Tokio. Duże zainteresowanie kibiców tą dyscypliną wiąże się z wysoką atrakcyjnością i widowiskowością walki sportowej, w której rywalizują dwa 6-cio osobowe zespoły, a ich celem jest spowodowanie upadku piłki na polu przeciwnika o wymiarach 9 m × 9 m. Gra ma charakter rywalizacji pośredniej, bez możliwości kontaktu fizycznego z rywalem.

W grze w piłkę siatkową występuje szereg kompleksowych działań techniczno-taktycznych, które składają się z wielu pojedynczych działań technicznych: zagrywka, przyjęcie zagrywki, wystawa, atak, blok i obrona (Grządziel i Ljach 2000). Duża liczba i różnorodność akcji oraz cykliczność zmian w ustawieniu drużyny wymaga wysokiej aktywności i dynamiki zachowań motorycznych podczas gry.

Czas trwania meczu w piłce siatkowej jest zróżnicowany i może się wahać między 60 minutami a 140 minutami. Podaje się, że średni czas trwania jednego seta to około 27 minut (Grządziel i wsp. 2010). Rywalizacja w piłce siatkowej ma charakter przerywany, gdzie występują kolejno fazy aktywne i pasywne. Czas fazy aktywnej (akcji) wynosi średnio 9-10 sekund (min. 2,2 s; max ok. 55 s) Przerwy między akcjami wynoszą średnio 7-10 sekund. Siatkówka jest dyscypliną, w której charakterystyczne są szybkie starty do piłki i dynamiczne zatrzymania oraz wysoki, które wymuszane są przez siatkę pomiędzy boiskami przeciwników. Te charakterystyczne akcje powtarzane są tysiące razy w sezonie (Nešić i wsp. 2013). Podczas nich zawodnik wielokrotnie zmuszany jest do generowania maksymalnej siły i mocy. Lehnert i współautorzy (2009) wykazali, że czas trwania siły maksymalnej u zawodnika wynosi 0,5-0,7 sekundy, a ruchy o charakterze największej eksplozywności wykonywane są nawet w krótszym czasie (Lehnert i wsp. 2009)

Obserwacje telemetryczne wykazały, że w bilansie energetycznym gry właściwej przemiany tlenowe stanowią ok. 10% czasu rywalizacji, przemiany mieszane od 40% do 80% czasu, a przemiany beztlenowe od 10% do 60% czasu gry (Bompa i wsp. 2013). Obciążenia startowe zawodników związane są z dużym wydatkiem energetycznym organizmu, co wpływa na wzmożoną pracę układu sercowo-naczyniowego, oddechowego, mięśniowego i nerwowego. Rywalizacja meczowa w związku z niedostatecznym zabezpieczeniem w tlen

oparta jest o mechanizmy beztlenowe. W intensywnych fazach gry dług tlenowy sięga 10 l, a stężenie LA 4-6 mmol/l, wentylacja płuc 120-130 l/min.

W związku z koniecznością sprostania przez zawodników wysokim wymaganiom techniczno-taktycznym połączonych z wysokim poziomem zdolności motorycznych, podczas selekcji siatkarzy wymagany jest od nich także odpowiedni poziom sprawności fizycznej, sprawności psychofizycznej, koncentracji uwagi, wytrzymałości specjalnej, antycypacji oraz niezawodności w działaniach techniczno-taktycznych.

Zdaniem Bompy i współautorów (2013) w zakresie motorycznym dominującymi zdolnościami w siatkówce są zdolności szybkościowo-siłowe tj.: szybkość, skoczność, wytrzymałość siłowa i siła zrywna. Ponadto wśród zdolności koordynacyjnych za dominujące uważa się szybkość reakcji, orientację czasowo-przestrzenną oraz różnicowanie kinestetyczne. Podobnych obserwacji dokonali Grządziel i współautorzy (2000), którzy w swojej publikacji przypisali aż 70% udziału w czasie gry siatkarskiej zdolnościom szybkościowo-siłowym. Wysoki poziom rozwoju zdolności szybkościowo-siłowych wśród siatkarzy wpływa na wysokość wyskoku osiągniętego (Canavan i wsp. 1996; Carlock i wsp. 2004; Channell i Barfield 2008), co w sposób oczywisty pozwala na poprawę efektywności gry. Sama skoczność definiowana jest przez Grządziela (2010) jako wieloczynnikowa funkcja szybkości, siły oraz budowy i proporcji ciała.

Siatkarz w czasie walki sportowej wielokrotnie wykonuje maksymalne wysoki pionowe w celu uzyskania kontaktu z piłką w trakcie jej lotu w jak najwyższym punkcie podczas ataku (Palao i Valades 2009). Prawidłowy atak w piłce siatkowej zależy od wysokości kontaktu z piłką zawodnika atakującego, kierunku oraz prędkości lotu piłki (Palao i Valades 2009).

W treningu motorycznym siatkarzy czterema podstawowymi zdolnościami godnymi kształtowania są: siła, moc, zwinność i gibkość (Baechle i Earle 2008; Scates i wsp. 2003). Siła rozumiana jest jako zdolność do pokonania oporów zewnętrznych (Holmberg 2013; Scates i wsp. 2003), moc jest natomiast wartością fizyczną opisującą ilość wykonanej pracy w jednostce czasu, jednak w literaturze zajmującej się aktywnością fizyczną przez pojęcie mocy rozumiemy ilość siły wygenerowanej w jednostce czasu (Kraemer i wsp. 2001; Robbins i Docherty 2005; Scates, Linn, i Kowalick 2003).

Niezaprzeczalnym jest, że maksymalna siła (F_{max}) oraz prędkość (V_{max}) bezpośrednio przekłada się na rezultaty osiągnięte w wyskoku pionowym (Samozino i wsp. 2010). Badacze zajmujący się tym zagadnieniem zwracają uwagę nie tylko na maksymalne wartości zdolności siłowych (F_{max}) i zdolności szybkościowych (V_{max}) oraz ich pochodną

jaką jest moc (P), ale również na wzajemny stosunek tych zmiennych. Pojedyncze doniesienia opisują relację siły i szybkości ($F-V$) wśród siatkarzy w postaci profilu zbudowanego na podstawie parametrów zarejestrowanych w trakcie wyskoku pionowego (Petridis i wsp. 2021), będącym najbliższym wysiłkowi startowemu w tej dyscyplinie. Jedyne wcześniejsze badania opisujące tę zależność wśród siatkarzy są oparte na eksperymencie prowadzonym z wykorzystaniem cykloergometru (Driss i wsp. 1998). Problematyka ta cieszy się dużą popularnością wśród naukowców, którzy w swoich badaniach wykorzystywali wyskok pionowy do oceny profilu $F-V$ w różnych grupach sportowych, byli to m.in. piłkarze nożni, rugbiści oraz sprinterzy (Samozino i wsp. 2014), koszykarze (Mandic i wsp. 2015) oraz lekkoatleci (Jiménez-Reyes i wsp. 2014). Ze względu na charakter wysiłku i specyfikę zadań ruchowych wykonywanych przez siatkarzy w treningu i w grze, wydaje się być konieczne pogłębienie wiedzy o wzajemnej relacji $F-V$ podczas wyskoku pionowego w tej grupie sportowców. Jednocześnie niezwykle interesująca może okazać się charakterystyka zmian tych parametrów pod wpływem kumulującego się wysiłku fizycznego. Zanim jednak będzie można przejść do szczegółowych analiz blisko związanych z przebiegiem walki sportowej w danej dyscyplinie należy usystematyzować pewne pojęcia charakterystyczne dla danego obszaru badawczego.

1.2. Motoryczność człowieka a zdolności koordynacyjne

Geneza motoryczności człowieka oparta jest o ruch będący najbardziej uniwersalnym i spektakularnym przejawem ludzkiej aktywności życiowej. Towarzyszy on człowiekowi od poczęcia i pozostaje z nim w różnych powiązaniach na przestrzeni całego życia. Obok mowy stanowi najpowszechniej i najwszechstronniej stosowany środek w kontakcie człowieka z otaczającym go światem jest także głównym czynnikiem rozwoju i doskonalenia człowieka, podstawowym środkiem kształcenia i wychowania (Raczek 2010). Obecnie pojmowanie ruchu ma swój początek w czasach Newtona, gdzie sprowadzono go do zmiany miejsca położenia materii. Współczesna definicja ruchu określa go jako celowe, zorganizowane i skoordynowane przemieszczenie się ciała lub jego części w przestrzeni, która jest zewnętrze dostrzegalną, obiektywną składową ludzkiego działania (Raczek 2010). Ruch jest zatem efektem, pochodną wielowymiarowych zdarzeń, które obok czasowo-przestrzennych zmian obejmują także czynniki biopsychospołeczne. Obecne rozważania nad ruchem i motorycznością sugerują, że pojęcia te są nierozrwalne i zawsze należy je rozpatrywać wspólnie jako stan ludzkiej aktywności motorycznej – jej zewnętrzne (ruch) i wewnętrzne (motoryczność) strony (Raczek 2010). Początkowo pojęcie motoryczności sprowadzono tylko

do ogółu systemów i procesów organizmu, które inicjują i kontrolują ruch człowieka (Pohlmann 1994; Roth, Willimczik 1999). Jednak wraz z rozwojem poglądów dotyczących struktury motorycznej człowieka pojęcie to, głównie za sprawą badań Raczka poszerzono o założenie, że motoryczność jest całościowym, spójnym obszarem uwarunkowań i przejawów oraz zachowań i potrzeb ruchowych człowieka.

Na potrzeby opisu, analizy i wyjaśnienia różnic wewnątrz i zewnątrz osobniczych w motoryczności, leżących u podstaw realizacji czynności ruchowej powstało pojęcie „znamiona motoryczne”, w ramach którego wyszczególniono znamiona o charakterze ogólnym tj. zdolności motoryczne oraz znamiona specyficzne czyli umiejętności motoryczne. Oba te konstrukty są ze sobą ściśle powiązane, mają wspólne podłoże w procesach i prawidłowościach wewnątrzosobniczych. Ich zróżnicowanie możliwe jest jedynie pod kątem stopnia uogólnienia. Zdolności obejmują ogólne warunki dla wielu odmiennych czynności ruchowych, umiejętności natomiast stanowią podłoże dla konkretnych działań ruchowych (Raczek 2010).

W celu szerokiego, ogólnego opisanie oddziaływania człowieka ze środowiskiem zewnętrznym, które nie jest oparte na specyficznych ruchach, bezpośrednio związanych z techniką i formą ruchu wyodrębniono trzy grupy zdolności motorycznych wraz z ich dominantami (charakterystykę wszystkich zdolności przedstawia (Tabela 1.):

- zdolności kondycyjne (energetyczne) – zdeterminowane głównie procesami energetyczno-metabolicznymi, wśród których wyróżniamy: zdolności wytrzymałościowe i siłowe,
- zdolności koordynacyjne (informacyjne) – zdeterminowane głównie neurosensomotorycznymi i psychicznymi procesami sterująco-regulacyjnymi, zaliczamy do nich zdolności: sprzężenia, różnicowania, równowagi, rytmizacji, orientacji, szybkości reakcji, dostosowania,
- zdolności kompleksowe (hybrydowe) – zdeterminowane powyższymi czynnikami bez wyraźnej dominanty to: zwinnościowe, szybkościowe i wtórne.

Przedstawiony podział choć nieco wyidealizowany, jest rozpowszechniony i na ogół akceptowany, u podstaw którego leży zasada dominanty podłoża. Przedstawiona klasyfikacja opiera się na przesłankach związanych z podstawą funkcjonowania określonych struktur organizmu (Hirtz 1985):

- informacyjna (procesy programowania, sterowania i regulacji),
- energetyczna (procesy przemiany energii i materii),

- orientacyjna (procesy percepcyjne, kognitywne, mnemoniczne),
- stymulacyjna (procesy motywacyjne, emocjonalne).

Na bazie powyższych przesłanek zdolności motoryczne należy rozumieć jako złożony system uwarunkowań, zintegrowany zbiór elementów i stosunków między nimi, które wyznaczają możliwości działań ruchowych i decydują o efektywności motorycznej. Zdolności te bazują na wrodzonych, genetycznie uwarunkowanych zadatkach, ukształtowanych środowiskowo w toku rozwoju ontogenetycznego i zmieniające się pod wpływem oddziaływań otoczenia oraz własnej aktywności człowieka (Raczek 2010). W obszarze zdolności motorycznych panuje zgodność, że grupa kondycyjnych zdolności obejmuje zdolności siłowe i wytrzymałościowe. Pogłębiona analiza tych zdolności umożliwia ich dalszy podział i uszczegółowienie tj.: siła maksymalna, statyczna i dynamiczna oraz na wytrzymałość lokalną i ogólną, tlenową i beztlenową, krótko-, średnio- i długoczasową. Długoletnie badania nad tymi znamionami motoryczności pozwoliły na gruntowne ich poznanie, wykazały ich wysoką wartość prognostyczną w kontekście walki sportowej i umożliwiły opracowanie szczegółowych metod treningowych.

Ze względów metodologicznych znacznie słabiej poznanym jest obszar zdolności koordynacyjnych, niezwykle istotny z perspektywy codziennych czynności, zwłaszcza tych które charakteryzują się dużą złożonością zmiennych czasowo przestrzennych. Pierwsze przesłanki dotyczące badań nad koordynacją ruchów sięgają czasów Bernsteina (1947). Określał on koordynację ruchów, jako samoorganizujący i synergistyczny proces zmierzający ku pokonaniu braku jednoznaczności między ośrodkami ruchu i odpowiedzią obwodu prowadzające się do pokonania nadmiernej liczny stopni swobody poruszającego się ciała. Obecnie obowiązująca i zarazem najtrafniejsza definicja koordynacji ruchowej Raczka z 1987 roku jest syntezą dwóch obowiązujących wcześniej pojęć: koordynacji ruchowej Meinela (1967) oraz koordynacji motorycznej Schnabla (1994). Raczek koordynację ruchową definiował jako „prawidłowy porządek działania ruchowego, wzajemne uzgodnienie wszystkich komponentów ruchu tzn. ich przebiegów i stanów we współdziałaniu człowieka ze środowiskiem” bazuje na poglądach zaproponowanych przez Meinela (1967), który postulował aby koordynację ruchów rozumieć jako „dobre zgranie, czyli zestrojenie poszczególnych składowych ruchów w jedną sensowną całość oraz ich właściwe uporządkowanie dla określonego celu ruchowego, który ma być zrealizowana w konkretnej sytuacji”. Natomiast Schnabel (1994) uważał, że koordynacja motoryczna to „uporządkowanie, uzgodnienie i organizacja ruchów, a tym samym leżących u ich podstaw

psychofizycznych procesów przygotowania (orientacja, planowanie) oraz kontroli (sterowanie i regulacja) ukierunkowanych na osiągnięcie konkretnego celu w aktywnym współdziałaniu człowieka ze środowiskiem”. Raczek (2002) sądził ponadto, że przejawem doskonałości procesów koordynacji jest przede wszystkim precyzja, ekonomia i skuteczność wykonywanej czynności ruchowej, a u jej podstaw leżą procesy kontroli ruchu tj. generowania, sterowania i regulacji czynności ruchowej.

Obecnie stan wiedzy pozwala na rozpatrywanie koordynacyjnego obszaru motoryczności człowieka w dwojaki sposób: jako proces organizacji informacji (sterowania i regulacji ruchów) oraz jako kompleks specyficznych zdolności koordynacyjnych określających względnie utrwalone formy przebiegu procesów regulacyjnych i stanowiących o potencjale koordynacyjnym człowieka.

Przez wspomniany proces, który jest pojęciem bardzo szerokim należy rozumieć powstawanie i wdrażanie do realizacji programu ruchowego oraz ciągłe porównywanie czasowo-przestrzennych parametrów ruchu z wartościami zaplanowanymi we wdrożonym programie. Takie podejście ma swój początek w rozważaniach Bernsteina (1966), który to koordynację ruchową określał jako proces tworzenia jednostek czynnościowych przez ograniczanie zbędnych stopni swobody reprezentowanych przez ruchome połączenia ciała, czyli stawy i mięśnie, a na bardziej podstawowym poziomie, także przez jednostki motoryczne.

Rozpatrując koordynację motoryczną jako kompleks specyficznych zdolności koordynacyjnych należy zdefiniować ją jako odzwierciedlenie złożonych stosunków zachodzących pomiędzy czynnikami neuropsychicznymi umożliwiającymi skuteczne sterowanie i regulację czynności ruchowych w skomplikowanym, wielowarstwowym systemie, opierającym się na podstawach biologicznych (Raczek i wsp. 2002). Ljach (1979) definiował kompleks zdolności koordynacyjnych jako właściwości psychomotoryczne, które wyrażają gotowość do optymalnego sterowania i regulacji czynności ruchowych. Szopa (1992) natomiast jako pierwszy przy definiowaniu pojęcia zdolności koordynacyjnych zwrócił uwagę zarówno na dokładność i precyzję zadania ale także na zmieniające się warunki podczas przebiegu ruchu. Zanim jednak doszło do wyróżnienia kompleksu zdolności koordynacyjnych w przeszłości w Polsce przyjmowano, że koordynacja ruchowa była synonimem zwinności. Denisiuk (1969) określał zwinność jako zdolność do scalania ruchów różnego rodzaju w jedną całość oraz zdolność szybkiego przestawiania się z jednych aktów ruchowych na inne. W oparciu o badania Raczka (1986, 1989), Raczka i Mynarskiego (1991, 1992), Szopy (1992, 1994) oraz Starosty (1990) wykazano, że tak wyróżniana zwinność nie

odzwierciedla w sposób dominujący procesów informacyjnych (co przypisuje się zdolnościom koordynacyjnym), a tradycyjne testy zwinności wykazywały dużą korelację z elementami siłowo-szybkościowymi (Szopa 1992). W konsekwencji tego zjawiska przyjęto, że zwinność ma charakter informacyjno-energetyczny i zajmuje miejsce w grupie właściwości kompleksowo-hybrydowych (Raczek 2010). Obecny podział na siedem odrębnych zdolności koordynacyjnych ukonstytuował się na początku lat 90-tych XX wieku i przedstawia się następująco: rytmizacja, różnicowanie ruchów, równowaga, orientacja przestrzenna, szybkość reakcji, dostosowania, łączenie ruchów. Obszerne badania Szopy i współautorów (1992, 1994), Mleczo (1992) oraz Raczka (1986, 1987) potwierdziły zasadność takiego podziału.

Tabela 1. Zdolności motoryczne i ich podstawowa charakterystyka

Zdolności	Charakterystyka
Siłowe	Pokonywanie oporu zewnętrznego lub przeciwdziałanie mu kosztem wysiłku mięśniowego
Wytrzymałościowe	Kontynuowanie wysiłku fizycznego o określonej intensywności i zachowanie podwyższonej odporności na zmęczenie w różnych warunkach środowiska zewnętrznego
Szybkościowe	Wykonywanie ruchów w najmniejszych dla danych warunków odcinkach czasu
Zwinnościowe	Szybkie, dokładne, zmienne i ekonomiczne wykonywanie złożonych czynności ruchowych w różnych warunkach i sytuacjach
Sprzężenia	Celowa organizacja ruchów ciała, prowadząca do integracji czasowych, przestrzennych i dynamicznych parametrów ruchu i podporządkowania ich zadaniu realizowanemu przez całe ciało
Orientacji	Dokładna ocena położenia ciała i jego zmiana w stosunku do punktu odniesienia oraz realizowanie ruchu w żądanym kierunku
Różnicowania	Wysoka dokładność i ekonomia wykonywania ruchów częściowych oraz poszczególnych faz w całości czynności ruchowej
Równowagi	Utrzymanie stabilnej pozycji ciała oraz zachowanie lub odzyskanie tego stanu podczas czynności ruchowej albo bezpośrednio po jej wykonaniu
Szybkości reakcji	Zainicjowanie i wykonanie w jak najkrótszym czasie celowego działania ruchowego e odpowiedzi na określony sygnał, w którym zaangażowane może być całe ciało lub jego część
Dostosowania	Wdrożenie optymalnego programu działań ruchowych oraz jego modyfikowanie i przestawianie zgodnie z powstałą lub przewidywaną zmianą sytuacji
Rytmizacji	Uchwycenie, zapamiętanie, odtworzenie i realizowanie dynamicznej struktury ruchów cyklicznych i acyklicznych, przejawiające się w ich dostosowaniu do podanego rytmu zewnętrznego lub przyjęcia celowego rytmu własnego

Poziom zdolności koordynacyjnych jest indywidualny dla każdego człowieka i warunkuje jakość przebiegu i efekt końcowy wielu czynności ruchowych. Rozpatrywanie koordynacyjnych zdolności motorycznych jako odrębnych „bytów” stanowi swoiste wyzwanie gdyż przejawiają się one w ścisłych wzajemnych powiązaniach. Niemniej jednak, wielu autorów spośród siedmiu zdolności koordynacyjnych wyróżnia zdolność kinestetycznego różnicowania ruchu, jako tę fundamentalną (Blume 1981, Szopa i wsp. 1996, Raczek i wsp. 2002, Starosta 2003). Przejawy tej zdolności odnotowujemy w każdych nawet najprostszych czynnościach ruchowych związanych z przemieszczeniem całego ciała lub jego poszczególnych części. Zarządzanie takimi przemieszczeniami możliwe jest dzięki dwóm systemom postrzegania siły: wrażenia sensomotoryczne generowane przez CUN oraz czucia obwodowego. Pierwsze nazywane jest też wrażeniem innerwacyjnym od innerwacji dróg wstępujących (Helmholtz 1925) lub uczuciem wysiłku (McCloskey i wsp. 1974). Drugie natomiast potwierdza hipoteza Bella (1826), zgodnie z którą szczegółowe informacje odbierane są z receptorów zlokalizowanych w mięśniach, stawach i skórze. Źródłem tej informacji sensorycznej, opisanej jako poczucie siły lub napięcie mięśniowe są narządy ścięgniste Golgiego (Crago i wsp. 1982). Dzięki dużej precyzji w postrzeganiu czasu, siły i przestrzeni przez centralny układ nerwowy, możliwa jest dokładna lokalizacja położenia kończyn, tułowia oraz kontrola kierunku, prędkości i siły ich przemieszczania.

Kinestetyczne różnicowanie przejawia się jako zdolność dostosowania do środowiska zewnętrznego, umożliwia wykonywanie bardzo precyzyjnych ruchów przy minimalnej utracie energii. Jest ono warunkowane poprzez świadome, precyzyjne określenie parametrów siły, czasu i przestrzeni wykonywanego ruchu oraz porównanie jego przebiegu do wyobrażonego wzorca (Blume 1981). Raczek i współautorzy (2010) uważał, że zdolność kinestetycznego różnicowania odgrywa dominującą rolę w przetwarzaniu informacji o pozycji kątowej w stawach (komponenty przestrzenne), o prędkości ruchu (komponenty czasowe) i o stanie napięcia zaangażowanych mięśni (komponenty siłowe) przez co w dużym stopniu determinuje precyzję i płynność ruchu. Jeszcze inaczej zdolność tę definiują Bajdziński i Starosta (2002), którzy na podstawie badań własnych i innych autorów kinestetyczne różnicowanie opisują jako optymalne wykonanie zadania ruchowego na podstawie odbieranych i zapamiętywanych wrażeń zmysłowych.

Wśród autorów definiujących kinestetyczne różnicowanie należy zwrócić uwagę, że pomimo niewielkich różnic w postrzeganiu tej zdolności wszystkie definicje zwracają uwagę na świadome, celowe i oparte na wcześniejszych doświadczeniach dostosowanie do środowiska zewnętrznego.

W literaturze pojęcie różnicowania często utożsamiane jest z propriocepcją lub kinestezją. Pierwsza definiowana jest jako aferentna informacja pochodząca z receptorów rozlokowanych w torebkach stawowych, więzadłach, ścięgnach oraz mięśniach i wpływa na świadome doznania aktywności mięśniowej, równowagi i czucia między segmentalnego wprowadzona została przez Sherringtona (1906). Obecnie badania nad propriocepcją skupiają się głównie na wpływie różnego rodzaju zmęczenia oraz możliwościach jej kształtowania. Natomiast termin „kinestezja” została wprowadzona przez Bastiana w 1887 roku i ujmowana jest jako percepcja ruchu lub czucia ruchu. To dzięki kinestezji możliwe jest wykrycie zarówno aktywnej (pod wpływem własnego działania) jak i pasywnej (pod wpływem działania sił zewnętrznych) zmiany położenia względem siebie poszczególnych części stawu.

Niejednokrotnie zdolność kinestetycznego różnicowania ruchów postrzegana jest jako wiodąca w wielu dyscyplinach sportowych, a także we wszystkich czynnościach dnia codziennego (Bajdziński 2002; Raczek i wsp. 2002; Starosta 2003) przez co jest przedmiotem licznych badań naukowych. Kinestetyczne różnicowanie ruchów jest nierozzerwalnie związane z pracą mięśni. Opracowania opisujące funkcjonowanie mięśni możemy podzielić ze względu na warunki wykonania prób tj. izolowane czyli sztucznie wymuszone na potrzeby badania oraz funkcjonalne czyli powszechnie, naturalnie używane w realizacji zadania ruchowego (Abderrehmane i wsp. 2001; Bobbert i wsp. 2008; Bobbert 2014; Cuk i wsp. 2014; Jiménez-Reyes i wsp. 2017; Mandic i wsp. 2015; Markovic, Jaric 2007; Sprague i wsp. 2007; Struzik i wsp. 2017). Ponadto parametry mechaniczne pracy mięśni obszernie badane są w różnych technikach sportowych (Sheppard i wsp., 2008; Vandewalle i wsp. 1987) oraz u osób z zaburzeniami chorobowymi (Raynor 2001). Liczną grupę publikacji stanowią takie, w których autorzy wykorzystują matematyczne modelowanie funkcji układu mięśniowo-szkieletowego (Bobbert 2012; Jaric, Markovic 2009; Samozino i wsp. 2012) w celu przewidzenia zmiany wartości pożądaných parametrów czy przewidzenia następstw ich zmiany. Na potrzeby sportu modelowaniu zazwyczaj poddawane są wzorce ruchowe powszechnie wykorzystywane w różnych dyscyplinach, a przeznaczeniem tego zabiegu jest najczęściej maksymalizacja wyniku sportowego. Kolejnym celem wykorzystywania metody modelowania funkcji układu mięśniowo-szkieletowego jest optymalizacja i indywidualizacja wysiłku fizycznego, co powiązane jest z przeciwdziałaniem jego przeciążeniu. Matematyczne opisanie, usystematyzowanie i wreszcie przewidzenie zmian wartości parametrów mechanicznych pracy mięśni umożliwiłoby dokładne programowanie treningu i optymalny rozwój fizyczny zawodników.

Obserwując wyniki sportowe uzyskiwane przez zawodników na przestrzeni lat dostrzega się nieustanny progres w osiągniętych rezultatach. To właśnie dzięki poprawie detali wykonywanego ruchu oraz właściwie zaprogramowanemu treningowi zawodnicy mogą ciągle rozwijać swoje umiejętności. Skrupulatne analityczne podejście do złożonych technik sportowych umożliwia wyodrębnienie i poprawę poszczególnych faz ruchu w technice, opierając się o prawidłowe wzorce motoryczne.

Wśród fizjoterapeutów i trenerów przyjęty jest podział na dwa główne wzorce funkcjonalne, tj. wzorzec pchania i ciągnięcia. Można je wyróżnić w trzech płaszczyznach poprzecznej, czołowej i strzałkowej. Jednym z najczęściej wykorzystywanych wzorców w dyscyplinach szybkościowo siłowych jest wzorzec pchania np. skok w dal, bieg sprinterski, wyskok pionowy, podczas których występuje trój wyprost (staw skokowy, kolanowy, biodrowy), który pomaga w generowaniu maksymalnej mocy kończyn dolnych. Optymalne wykonanie wyskoku pionowego wymaga jednak wysokiego poziomu zdolności koordynacyjnych i jest jednym z najczęściej wykorzystywanych wzorców ruchowych w diagnostyce sportowca.

1.3. Wyskok pionowy jako test diagnostyczny

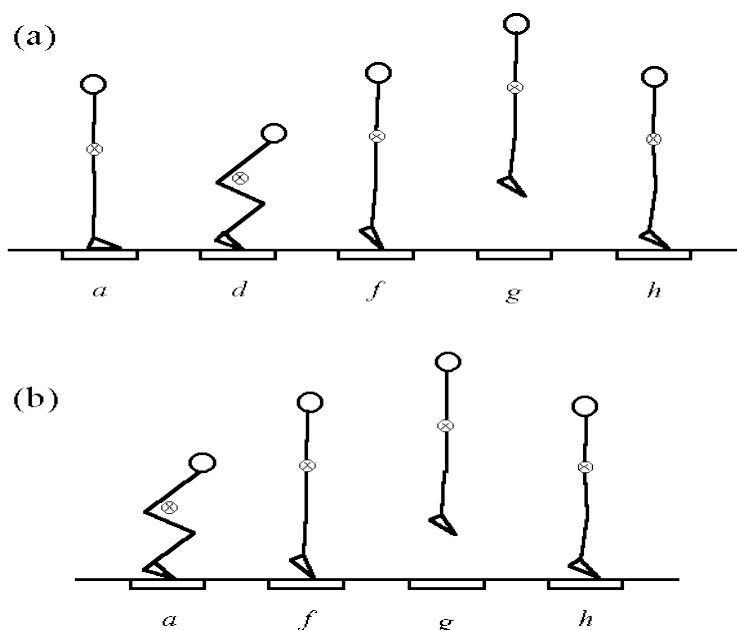
Badania poświęcone wyskokowi pionowemu zdają się mieć szczególną implikację praktyczną ponieważ skok pionowy reprezentuje ważny wzorzec ruchowy często wykorzystywany w wielu dyscyplinach sportowych, zarówno zespołowych jak i indywidualnych. Optymalne wykonanie wyskoku zależy od wielu czynników, jednym z nich jest koordynacja segmentalna całego ciała, która określana jest jako interakcja pomiędzy centralnym układem nerwowym, a mięśniami jako efektorami rozlokowanymi w obrębie segmentów ciała (Rodacki i wsp. 2002). Świadome pobudzanie i hamowanie mięśni przez układ nerwowy zapewnia nam harmonijne przemieszczanie się części ciała względem siebie co prowadzi do stworzenia optymalnych warunków do jak największego przyspieszenia masy własnego ciała w jak najkrótszym czasie (ruch balistyczny).

Dzięki tym cechom skok pionowy został uznany za odpowiedni test do pośredniej oceny siły sportowców (Cuk i wsp. 2014; Sheppard i wsp. 2008), osób prowadzących sedentarny tryb życia, jak również do monitorowania efektów szkolenia (Cormie, McCaulley, i McBride 2007) oraz modelowania efektów treningu (Cheng i wsp. 2008; Dias i wsp. 2011). Najczęściej rejestrowaną zmienną obserwowaną podczas testów skoku pionowego jest maksymalna wysokość skoku. Wykorzystanie biomechanicznych metod analizy ruchu, w tym badanie kinetyki ruchu z wykorzystaniem platform tensometrycznych, pozwala na rejestrację szeregu

dodatkowych zmiennych. Są to m.in.: średnia i szczytowe wartości siły, mocy i prędkości, czas do osiągnięcia wartości szczytowej siły, mocy i prędkości (García-Ramos i wsp. 2016; McLellan 2011), gradient siły (McLellan 2011), impuls (Mitchell i wsp., 2017). Przyjęto, że analizowanie wyników maksymalnych skoków pionowych może zapewnić wiarygodną ocenę różnych zmiennych kinematycznych i kinetycznych (Markovic i wsp. 2004).

Spośród różnych skoków pionowych używanych jako test do pośredniego pomiaru siły i mocy kończyn dolnych (Cormie i wsp. 2011), najczęściej stosowanymi, były skoki bez fazy zamachowej z pozycji półprzysiadu (*ang. squat jump - SJ*) i skoki z fazą wstępnego rozciągnięcia mięśnia (*ang. countermovement jump - CMJ*) (Bobbert i Schenau 1988; Klarova 2000). Właśnie faza zamachu czyli gwałtownie wyhamowanego ruchu skierowanego przeciwnie do zamierzonego ruchu balistycznego jest kluczową różnicą pomiędzy tymi skokami (Walshe i wsp. 1998). Faza zamachu jest nazywana także przygotowawczą i jej zadaniem jest:

- przedłużenie czasu rozwijania siły w ruchu koncentrycznym (Bojsen-Møller i wsp. 2005),
- zmiana kąta, pod jakim ustawione są wypustki miozynowe (Ettema i wsp. 1990)
- wykorzystanie energii sprężystej zgromadzonej w mięśniach i ścięgnach (Komi 2000),
- wykorzystanie dodatkowego pobudzenia (odruch na rozciągnięcie) (Walshe i wsp. 1998).



Rycina 1. Rodzaje skoku pionowego (a) skok z zamachem (CMJ), (b) skok z półprzysiadu (SJ) (Linthorne 2001).

Na przestrzeni lat badacze i trenerzy dokonywali licznych modyfikacji tych dwóch skoków w celu zbliżenia ich do sytuacji funkcjonalnej lub wyizolowania konkretnego mierzalnego mechanizmu np.: modyfikacja skoku „drop jump” ma za zadanie umożliwić porównanie siły eksplozywnej badanego i zakłada wykonanie zeskoku z podwyższenia ok. 20-30cm i wykonanie jak najwyższego wyskoku przy jak najkrótszym kontakcie z podłożem.

Równolegle z modyfikacjami rodzaju skoku rozwijały się metody jego pomiaru: test Sargent (1921) tj. wyskok z zamachem ramion wykonywany przy ścianie, test Abalakowa (1938) tj. wyskok pionowy z zamachem ramion z taśmą mierniczą przytwierdzoną do pasa, test Vertec czyli wykonanie wyskoku i pchnięcie specjalnych znaczników znajdujący się na wysięgniku. Wszystkie powyższe metody obarczone są znacznym błędem pomiarowym wynikającym z doświadczenia badanych (Dias i wsp. 2011), dlatego za złoty standard przyjęto pomiary na platformach dynamograficznych, rejestrujących siły i momenty sił reakcji podłoża na ciało. We wszystkich wyżej wymienionych skokach istotne jest określenie pozycji początkowej i pracę ramion, których zamach istotnie zmienia zarówno wydajność, jak i moc wyjściową CMJ (Suzovic i wsp. 2013).

W literaturze możemy znaleźć przykłady wykonania wyskoku pionowego z rękoma spoczywającymi podczas wyskoku na biodrach (*tzw. pozycja akimbo*) (Markovic i wsp. 2014), z rękoma splecionymi na klatce piersiowej (Rodacki i wsp. 2002) oraz wykonywanie wyskoku z rękoma prowadzonymi swobodnie, wspomagającymi fazę odbicia (Harman i wsp. 1990).

Możliwe liczne rodzaje skoków, ich modyfikacje oraz metody ich rejestracji powodują w badaniach naukowych konieczność szczególnej dbałości dotyczącej właściwego ich doboru, korespondującego z celem pracy. Większość działań sportowych (bieg, skok) opartych jest o dynamiczne ruchy obejmujące kolejne ekscentryczne i koncentryczne działania mięśni bliższe warunkom wykonania CMJ aniżeli wyizolowanej pracy koncentrycznej jak to ma miejsce w przypadku SJ (Jiménez-Reyes i wsp. 2014). Jest to podstawowym powodem wyboru skoku z fazą zamachu z ramionami spoczywającymi na biodrach w badaniach własnych. Skok ten jest najbardziej zbliżony charakterystyką kinematyczną do skoków podczas rywalizacji siatkarskiej. Aby wykluczyć wpływ efektu koordynacji zamachu ramion z wyskokiem na rezultaty wykonania zadania postanowiłem ograniczyć ich pracę poprzez wykonywanie wyskoku w pozycji akimbo.

Wyskok pionowy jest testem umożliwiającym diagnozowanie nie tylko maksymalnych siłowo-szybkościowych parametrów mechanicznych, ale także umożliwia diagnostykę zdolności kinestetycznego różnicowania. Umiejętność różnicowania wysokości

wysokoku jest z pewnością ważną zdolnością motoryczną determinującą wynik w wielu zespołowych dyscyplinach sportowych, m.in. koszykówce, piłce ręcznej oraz w siatkówce, gdzie powodzenie kluczowych momentów rywalizacji takie jak: uderzenie głową w piłce nożnej, chwycie piłki w powietrzu w koszykówce i piłce ręcznej czy atak piłki w siatkówce, uzależnione jest od wykonania wyskoku na optymalną wysokość. Problem ten w swoich pracach poruszyli Struzik (2017), Waśkiewicz (2002), Słomka (2015) i Struzik (2017) którzy w badaniach zadawali badanym różnicowanie wysokości na 25%, 50% i 75% względem maksymalnych możliwości. Stworzenie laboratoryjnych warunków, kiedy to należy wyskoczyć na zadaną wysokość, zbliżone jest do warunków panujących na boiskach gier zespołowych. Ich głównym elementem rywalizacji sportowej zawodnika jest wejście w interakcję np. z piłką, w określonym fragmencie boiska przy asyście przeciwnika. Nadlatująca piłka jest dla zawodnika punktem odniesienia i to względem niej zawodnik wykonuje szereg czynności: przemieszcza się w odpowiednie miejsce, przyjmuje postawę, stara się ją przejąć lub uderzyć. Podczas walki sportowej wszystkie zadania taktyczno-techniczne wymagają odpowiedniego skoordynowania w czasie i przestrzeni, a tym samym doboru parametrów siłowo-szybkościowych.

Obecne badania nad kinestezją skupiają się wokół możliwości rozwijania tej zdolności poprzez trening (Postle i wsp. 2012) oraz wpływu wysiłku fizycznego i zmęczenia na jej poziom (Brooks i wsp. 2013; Cafarelli i wsp. 1979; Słomka, 2015), jednak brak jest publikacji opisujących zmiany wartości parametrów siłowo-szybkościowych, zmiany proporcji tych parametrów podczas zadań zakładających różnicowanie efektu ruchu względem wymaganego poziomu maksymalnych możliwości. Opisanie zmian parametrów kinematycznych podczas różnicowania wysokości wyskoku może pomóc w aplikacji właściwych metod kształtowania tej zdolności.

1.4. Zakłócenia wzorca wyskoku pionowego

Wzorzec maksymalnego wyskoku osiągniętego jest bardzo popularny w badaniach naukowych i został precyzyjnie opisany (Bobbert 1988). Podobnie jak wiele innych wielostawowych czynności ruchowych może on podlegać różnym zakłóceniom. Mogą one pochodzić ze środowiska wykonywania ruchu czyli zakłócenia zewnętrzne lub powstałe w trakcie ruchu w naszym ustroju tzw. zakłócenia wewnętrzne. Do grupy zakłóceń zewnętrznych występujących w sporcie w trakcie ruchu zaliczamy m.in.: działania przeciwnika, ukształtowanie podłoża, warunki atmosferyczne, oświetlenie oraz np. charakterystyka lotu piłki w grach zespołowych. Wśród zakłóceń wewnętrznych, których

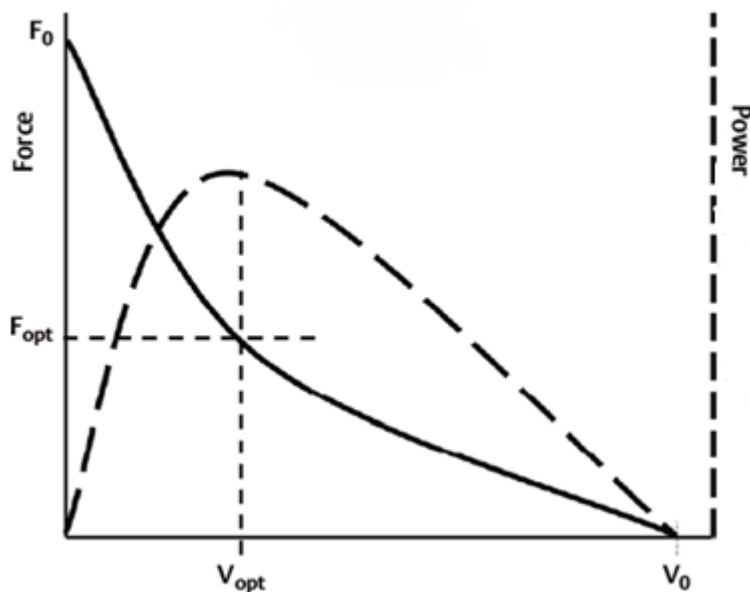
występowanie powinno być bardziej przewidywalne i powtarzalne w działalności zawodnika, wyróżnia się m.in. zmęczenie centralne oraz zmęczenie obwodowe (mięśniowe). Pierwsze z nich związane jest z obniżeniem sprawności funkcji ośrodkowego układu nerwowego, które przekłada się na obniżoną zdolność komórek mięśniowych do wykonywania skurczów, a także zaburzenia percepcji i spadek motywacji do kontynuowania pracy (Costello i Donnelly 2010). Zmęczenie obwodowe natomiast związane jest bezpośrednio obniżeniem siły i szybkości skurczów pracujących mięśni, co może prowadzić do całkowitej niezdolności do dalszej pracy, a jego występowanie przypisuje się zjawiskom fizjologicznym. Przewidzenie wystąpienia zjawiska zmęczenia jest niezwykle istotne w sporcie wyczynowym gdyż istnieją metody treningowe adaptujące organizm do ich występowania i ograniczają skutki pojawienia się zmęczenia.

Jedną z reakcji naszego organizmu na pojawiające się zmęczenie jest ograniczenie ilości stopni swobody, czyli liczba możliwych do wykonania ruchów w obrębie jednego stawu co prowadzi do usztywnienia wybranych segmentów naszego ciała (Bobbert i wsp. 2013; Nuzzo i wsp., 2008). Bonnard i współautorzy (1994) zwrócili uwagę na strategie kompensowania zmęczenia w ruchach wielostawowych przez reorganizację kolejności funkcjonowania mięśni w celu zapewnienia optymalnego rezultatu. W konsekwencji, pomimo spadku generowanej siły mięśniowej, następuje kompensacja przez zmianę czasów aktywacji poszczególnych mięśni (Schenau i wsp. 1995). Bobbert i Schenau (1988) na podstawie analizy EMG stwierdzili, że mięśnie napędowe fazy właściwej wyskoku pionowego aktywują się w kolejności od: prostowników stawu biodrowego, a wśród nich pośladkowy wielki (*gluteus maximus*), który jest maksymalnie aktywowany na początku fazy wyprostu. Następną w kolejności aktywną grupą mięśni są prostowniki kolana, których aktywacja na początku fazy odpychania wyniosła 62%, a szczytowy poziom aktywacji osiągają na 190 ms przed oderwaniem stóp od podłoża. Ostatnia grupa mięśni uczestniczących w wytwarzaniu siły pionowej to zginacze podeszwowe m.in. mięsień płaszczkowaty (*soleus*) i brzuchaty łydki (*musculus gastrocnemius*), których aktywacja na początku wyskoku wynosi zaledwie 26% ich potencjału, a najwyższą wartość osiągają dopiero w ostatnich 100 ms fazy napędowej. Zawodnik podczas walki sportowej musi dostosować wysokość swojego wyskoku do warunków panujących na boisku np. do wysokości zagranej piłki lub rozmieszczenia innych uczestników gry. Literatura naukowa nie przedstawia opisów koordynacji między segmentalnej w trakcie dostosowywania parametrów kinematycznych do warunków panujących podczas walki sportowej takich jak wysokość wyskoku lub szybkość dojścia do

piłki. Stanowi to kolejny krok w kierunku zrozumienia kontroli naszego układu mięśniowego przez centralny układ nerwowy.

1.5. Zależności generowania siły w stosunku do szybkości ruchu

Pionierem badań nad charakterystyką pracy mięśni był Archibald Vivian Hill, którego przełomowe badania stały się punktem wyjścia do wielu ważnych odkryć w dziedzinie biomechaniki i kinezylogii. Jednym z kluczowych dokonań Hilla były badania prowadzone na wyizolowanych mięśniach żaby, podczas których zaobserwował i opisał zależność wartości generowanej siły (F) do prędkości skracania się mięśnia (V) (Hill, 1938). Do opisu zaobserwowanej zależności wykorzystał zebrane wartości parametrów pracy mięśni tj. generowaną siłę (F) i prędkość skracania mięśnia (V), a zaprezentowany przez niego model wykazał nieliniową zależność tych parametrów (ryc. 2 – linia ciągła).



Rycina 2. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach jednostawowych (Hill 1938).

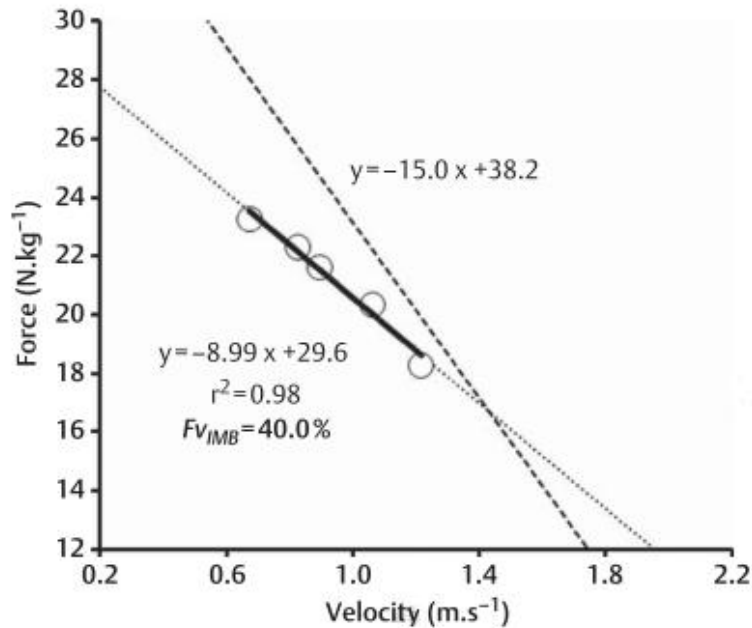
Zjawisko nieliniowej zależności F - V opisane w latach trzydziestych XX wieku przez Hilla, zostało zaobserwowane również przez Wilkiego (1949) podczas badań na mięśniach człowieka. Nieliniową relację F - V Wilki opisał na podstawie zebranych parametrów pracy mięśni podczas ruchów jednostawowego w wyizolowanym stawie łokciowym. Nieliniowa zależność siły i prędkości obserwowana podczas skrócenia pojedynczych włókien

mięśniowych żaby (Hill 1938) oraz w ruchach jednostawowych (Wilkie 1949) oznacza, że tempo zmiany wartości siły zmienia się wraz ze zmianą prędkości. Przy niskich prędkościach skracania mięśnia, zmiana wartości siły jest niewielka i spada powoli z niewielkimi przyrostami prędkości. Przy większych prędkościach tempo zmian siły jest wyższe i zmienia się dynamicznie wraz z każdą zmianą prędkości. W efekcie nieliniowej relacji F-V hiperboliczny kształt relacji mocy (P) do szybkości (V) jest przesunięty w kierunku niższych wartości.

$$P = F \times V.$$

Choć dokonania Hilla i Wilkiego (1938; 1949) są niezwykle istotnym wkładem do obecnej wiedzy na temat fizjologii pracy mięśni, w codziennym życiu człowiek rzadko wykonuje izolowane ruchy jednostawowe w trakcie jego interakcji ze środowiskiem. W celu sprawnego działania w środowisku człowiek zdecydowanie częściej wykonuje czynności oparte na ruchach wielostawowych, które stanowią podstawę funkcjonowania. Zadania motoryczne są zazwyczaj oparte na działaniach grup mięśni, które wywierają siły na złożony aparat kostny. Pobudzenie nerwowe i parametry mechaniczne pracy mięśniowej ciągle zmieniają się w trakcie ruchu. Rozwijając koncepcje wcześniejszych autorów, Jaric (2015) dowiódł, że grupy mięśni działających wspólnie w obrębie wielu stawów wykazują zdolność do liniowej zmiany wartości prędkości ich skracania (V) względem produkowanej siły (F) w odróżnieniu do działania tych mięśni jako wyizolowanych jednostek, w których zależność ta nie jest liniowa. Wykorzystując powszechnie znane mechaniczne parametry pracy grupy mięśni tj. siłę (F), szybkość (V) i moc (P) można w przejrzysty sposób zaprezentować zależność pomiędzy tymi parametrami wykorzystując równanie regresji. W efekcie otrzymywany jest swoisty profil siłowo-szybkościowy charakterystyczny dla określonej, złożonej czynności ruchowej (Jaric 2005). Dodatkową zaletą tak prezentowanych profili jest możliwość błyskawicznej predykcji maksymalnych możliwości siłowych i szybkościowych badanego, co w procesie długoletniego rozwoju zawodnika stanowi nieocenione narzędzie diagnostyczne.

$$F(V) = F_0 - aV$$

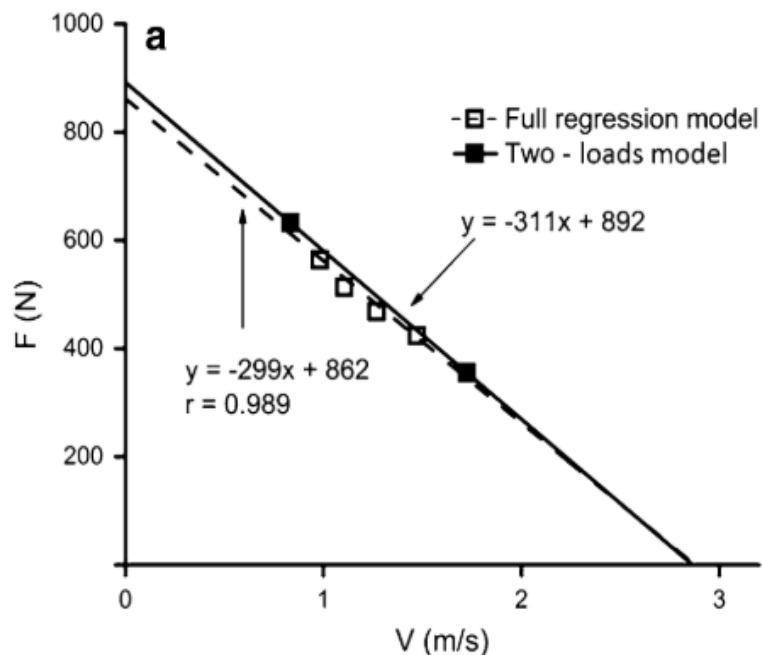


Rycina 3. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach wielostawowych (Samozino i wsp. 2014).

gdzie: F_0 jest miejscem przecięcia osi Y przez linię regresji i odpowiada maksymalnemu wysiłkowi izometrycznemu przy prędkości równej 0. Parametr „ a ” opisuje nachylenie linii regresji w układzie współrzędnych i odpowiada ilorazowi F_0 i V_0 . Współczynnik nachylenia regresji przyjmuje wartości ujemne, jego wyższe wartości świadczą o przesunięciu profilu F - V w kierunku zdolności szybkościowych, natomiast niższe wartości współczynnika a dowodzą przesunięcie regresji w kierunku zdolności siłowych.

Metoda wyznaczania profilu siłowo-szybkościowego na przestrzeni lat ewoluowała w kierunku uproszczenia procedur i uniwersalności dla coraz to większej liczby czynności funkcjonalnych. Jaric (2016) na podstawie swoich badań udowodnił, że do prawidłowego stworzenia profilu F - V wystarczające jest wykorzystanie tylko dwóch punktów pomiarowych tj. wartość parametru siły (F) i szybkość (V). Wcześniejsze prace zakładały wykorzystanie sześciu punktów do wyznaczenia (Driss i wsp. 2002; Samozino i wsp. 2012; Vandewalle i wsp. 1987) profili. Dzięki zmniejszeniu ilości punktów eksperymentalnych z sześciu do dwóch metoda ta stała się mniej czasochłonna i prostsza w użyciu, przy zachowaniu wysokiej rzetelności i trafności. Hipoteza zaprezentowana przez Jarica dotycząca tworzenia profili F - V tylko z dwóch prób wykonywanego testu oparta była na dwóch założeniach. Po pierwsze,

ponieważ zależność $F-V$ uzyskana w serii prób ruchu funkcjonalnego z dodatkowym obciążeniem okazała się wyjątkowo silna, liczba wykonanych pomiarów z dodatkowym obciążeniem (tj. różnych zastosowanych obciążeń) powinna mieć jedynie niewielki wpływ na zaobserwowaną zależność $F-V$. Po drugie, ponieważ relacja $F-V$ jest również liniowa, wielkość zastosowanych obciążeń powinna również odgrywać niewielką rolę. Współczynniki korelacji między parametrem odczytanymi z modelu regresji liniowej stworzonego z dwóch oraz sześciu prób wykonania ćwiczenia funkcjonalnego tj F_0 , V_0 i P_0 , wynoszą 0.994, 0.995, 0.984 dla prób wysokości dosiężnego z dodatkowym obciążeniem (Cuk i wsp. 2014). Wysokie współczynniki korelacji dla parametrów F_0 , V_0 i P_0 wykazał również Sreckovic i współautorzy (2015) i wynosiły odpowiednio 0.958, 0.961, 0.981, a korelowane wartości parametrów pochodziły z profilu $F-V$ wyznaczonych z dwóch i sześciu prób wyciskania sztangi leżąc z dodatkowym obciążeniem. W celu dokładnego odwzorowania rzeczywistego profilu $F-V$ wyrażonego kątem nachylenia krzywej regresji względem osi x Jaric (2016) zaleca wybranie jak najbardziej zróżnicowanego obciążenia do tworzenia modelu z dwóch punktów.

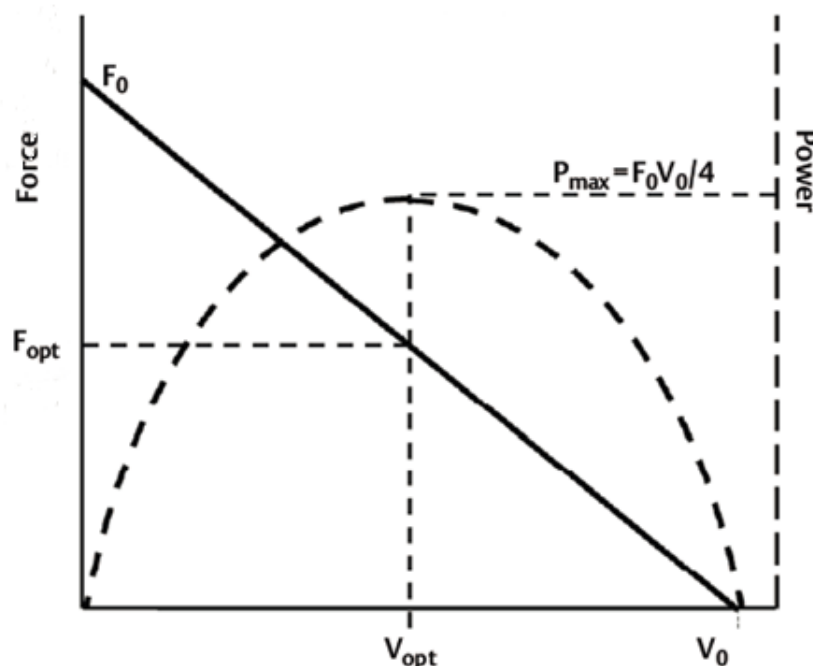


Rycina 4. Zależność siły do prędkości ($F-V$) uzyskana z modelu regresji liniowej zastosowanej w sześciu punktach eksperymentalnych obserwowanych podczas ćwiczeń z obciążeniami w zakresie od 20 do 57,5 kg dane przedstawione za pomocą linii przerywanej, ta sama zależność jest również pokazana w modelu skonstruowanym z dwóch obciążeń jako linii ciągłej (Sreckovic i wsp. 2015).

Wyznaczony model regresji liniowej daje także możliwość określenia mocy maksymalnej (P_{max}) w badanym ruchu wielostawowym:

$$P_{max} [W] = \frac{F_0 \times V_0}{4}$$

gdzie: V_0 jest punktem przecięcia linii regresji z osią X . W związku z liniową zależnością F - V możliwe jest obliczanie maksymalnej wartości mocy (P)



Rycina 5. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach wielostawowych (Jaric 2015).

W konsekwencji parabolicznego związku P - V maksymalna moc (P_{max}) wytwarza jest przy prędkości równej połowie wartości V_0 oraz obciążeniu zewnętrznym równym połowie wartości F_0 . Wykorzystanie modelu regresji do oceny możliwości F - V i P - V może znacznie uprościć i przyspieszyć zarówno procedury testowania, jak i modelowania w różnych obszarach badań nad ruchem człowieka (Jaric 2015).

Wśród licznych prac zajmujących się tematem zależności F - V złożonych ruchach wielostawowych występują publikacje opisujące zależność poziomu siły w stosunku do szybkości jej generowania w różnych zadaniach funkcjonalnych. Autorzy opisywali tę zależność dla kończyn dolnych: podczas wyskoku pionowego (Bobbert 2012), przysiadu (Abderrehmane i wsp. 2001; Sheppard i wsp. 2008), prostowanie nóg na maszynie (Bobbert 2012), jazda na rowerze (Driss i wsp. 2002; Jaskólska i wsp., 2007; Vandewalle i wsp., 1987),

oraz ćwiczenia na bieżni stacjonarnej (Jaskólska i wsp. 2007; Morin i wsp. 2010). Dla kończyn górnych natomiast autorzy prezentują zależność F-V dla ruchów wielostawowych podczas wypychania i ściągania sztangi rękami do klatki piersiowej w leżeniu na ławce prostej (García-Ramos i wsp. 2016; Rambaud i wsp. 2012; Sreckovic i wsp. 2015), wiosłowania na urządzeniu stacjonarnym (Sprague i wsp. 2007) i pedałowania rękami (Nikolaidis 2012). We wszystkich zadaniach występuje liniowa zależność F-V.

Badania nad liniowością relacji siły i szybkości są szeroko opisywane w literaturze i mogą nieść ze sobą wiele implikacji praktycznych dla fizjoterapeutów, lekarzy i trenerów. Autorzy licznych prac (Jaric i Markovic 2009; Samozino i wsp. 2014; Samozino i wsp. 2014) zwracają uwagę na zastosowanie zjawiska liniowości w optymalizowaniu treningu sportowego przez dobór właściwych, zindywidualizowanych obciążeń treningowych, Allison i współautorzy (2013) sugerują monitorowanie rehabilitacji przez porównywanie parametrów siłowych kończyn przed, w czasie i po interwencji. Liniowa zależność siły do szybkości, a tym samym możliwość określenia maksymalnych możliwości siłowych i szybkościowych może stać się prostym, szybkim a zarazem rzetelnym testem diagnostycznym do pośredniej oceny siły i mocy (Cuk i wsp., 2014; Driss i wsp. 1998; Jiménez-Reyes i wsp., 2014; Samozino i wsp., 2014).

Mimo obszernych badań i licznych prac w kontekście zróżnicowanych form funkcjonalnych wysiłków fizycznych, w których można zastosować opisywaną metodologię testowania relacji siły i szybkości oraz wyznaczania maksymalnych możliwości osobniczych, żadna praca nie podejmuje tematu zmiany stosunku F-V, a tym samym zmianę profilu na skutek różnych typów wysiłku fizycznego. W pracach zajmujących się tematyką diagnozowania i planowania wysiłku fizycznego przy wykorzystaniu metody regresji liniowej przez profil należy rozumieć indywidualny dla każdego badanego stosunek wytworzonej siły do prędkości wykonywania ruchu, profil opisywany jest przez współczynnik nachylenia krzywej regresji „a”. Istotny jest fakt, że profile opisujące zdolności siłowo-szybkościowe odnoszą się do konkretnego zadania ruchowego np. wyskok pionowy, jeden badany może mieć diametralnie różne wartości profilu w różnych zadaniach ruchowych. Fakt ten zmusza w profesjonalnym sporcie do przemyślanego dopasowywania testów siłowych do specyfiki sportu dla lepszego poznania zdolności siłowo-szybkościowych zawodników.

Istnieje wiele kategorii klasyfikacji wysiłku fizycznego. Biorąc pod uwagę kryterium intensywności, w którym definiuje się zapotrzebowanie na tlen względem pułapu tlenowego (*VO₂ max*) określanego jako maksymalną ilość tlenu, jaką jest w stanie pobrać organizm podczas intensywnego wysiłku, wyróżnia się wysiłki submaksymalne (zapotrzebowanie na

tlen jest mniejsze od pułapu tlenowego), wysiłki maksymalne (zapotrzebowanie na tlen jest równe pułapowi tlenowemu) oraz wysiłki supramaksymalne (zapotrzebowanie na tlen przewyższa pułap tlenowy). Wyodrębnia się także podział ze względu na wykorzystane źródła energii: tlenowy, mieszany i beztlenowy. Kolejnym kryterium podziału wysiłków jest czas ich trwania i rozróżnia się tutaj wysiłki: krótkotrwały (do kilku minut), średniej długości (30-60 minut) i długotrwały (powyżej 60 minut), ważnym podziałem jest również podział na ogólny (angażujący ponad 30% masy mięśniowej) i wysiłek lokalny. Ze względu na zmianę położenia poszczególnych segmentów ciała możemy mówić o wysiłku dynamicznym (odznaczającym się zmianami ułożenia całego ciała lub jego części w przestrzeni) oraz wysiłek statyczny przebiegający głównie w pozycjach izolowanych bez wyraźnego przemieszczenia się ciała, polegającym na utrzymaniu pozycji badawczej przez cały czas trwania protokołu testowego (Górski 2010; Jaskólski i Jaskólska 2006),

Każdy z wyżej wymienionych podziałów odnosi się do pracy mięśni szkieletowych oraz zmian zachodzących w ustroju pod jej wpływem. Zmiany te nazywane są powszechnie zmęczeniem. Allen i Westerblad (2001) definiują zmęczenie jako obniżenie wydajności na skutek intensywnej aktywności fizycznej. Zjawisko zmęczenia oceniane jest na dwóch poziomach: centralnym – związanym z procesami fizjologicznymi oraz lokalnym – związanym z nagromadzeniem się produktów ubocznych przemiany materii oraz mikro uszkodzeń włókien mięśniowych w obrębie wybranej grupy mięśniowej (Enoka 1995) Zmęczenie wywołane wysiłkiem fizycznym jest powodem zaburzenia jednego lub kilku procesów fizjologicznych umożliwiających produkcję siły. Lorist i współautorzy (2002) za zmęczenie uważają zmniejszenie zdolności danej osoby do wyzwolenia siły. Nie można zapomnieć, że miejsce deficytu produkowanej siły jest w dużej mierze uzależnione od wykonywanego zadania, a efekt ten znany jest jako zależność zmęczenia mięśni od realizowanego zadania i szeroko opisywany w literaturze na przestrzeni ostatniego wieku (Asmussen 1979; Bigland-Ritchie i wsp. 1995; Enoka 1995). Mechanizmy powstawania zmęczenia są zbadane i popularnie opisywane w literaturze, dlatego obecny kierunek badań naukowych koncentruje się na zależnościach między wysiłkiem fizycznym a efektywnością i skutecznością czynności ruchowej. Wśród nurtów badań dotyczących wpływu wysiłku fizycznego na koordynację motoryczną należy wyróżnić następujące: badania nad wpływem wysiłku na kontrolę postawy ciała (Bisson i wsp. 2010; Mello i wsp. 2007; Nardonea 1997; Strang i Berg 2007), badania wpływu wysiłku fizycznego na propriocepcję i czucie pozycji w stawach (Gear 2011; Givoni i wsp. 2007; Dal Pupo i wsp. 2013; Ribeiro i wsp. 2007; Walshe i wsp. 1998). Badania dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na koordynację

motoryczną mogą obejmować ruchy o charakterze lokalnym (Forestier i Nougier 1998) lub ruchy globalne (Rodacki i wsp. 2002).

W literaturze brak jest doniesień na temat wpływu zmęczenia na zmianę profilu zależności generowanej maksymalnej siły do szybkości skurczu mięśnia, co z perspektywy sportu wyczynowego mogłoby przyczynić się do dalszego wzrostu poziomu sportowego zawodników w dyscyplinach siłowo-szybkościowych i siłowo-wytrzymałościowych przez możliwość precyzyjniejszego dostosowywania parametrów treningu do indywidualnych potrzeb podopiecznych. Ponadto interesujące z punktu widzenia trenera i zawodnika jest zbadanie wpływu wysiłku fizycznego na zmianę profilu F-V, nie tylko podczas prób zakładających osiągnięcie maksymalnego rezultatu danego zadania ruchowego, tj. wyskoku na maksymalną wysokość, uderzenie jak najmocniej itp., ale także określenie zmian zależności F-V podczas zadania ruchowego zakładającego osiągnięcie konkretnego rezultatu zadania ruchowego tj. wyskok na połowę swoich możliwości, rzut piłką tak aby spadła na połowę maksymalnej odległości rzutu itp.

2. Cel pracy i pytania badawcze i hipotezy

Celem pracy było określenie wpływu wysiłku fizycznego o charakterze izometrycznym oraz wysiłku mającego na celu uzyskanie konkretnego rezultatu (wyskok na połowę maksymalnych możliwości) na zmianę profilu siłowo-szybkościowego w dwóch grupach.

2.1. Pytania badawcze

W ramach realizacji celu pracy postawiono następujące pytania badawcze:

1. Jaki jest przebieg profilu siłowo-szybkościowego w grupie siatkarki względem grupy kontrolnej?
2. Jak zmieniają się parametry mechaniczne ruchu podczas prób wykonywanych bezpośrednio po wysiłku fizycznym?
3. Jak zmieni się profil siłowo-szybkościowy podczas prób o zadanym wysiłku submaksymalnym?
4. Jak zmieniają się efekty kinestetycznego różnicowania siły pod wpływem zadanego wysiłku fizycznego?
5. Jakie są różnice pomiędzy mocą maksymalną uzyskaną w teście funkcjonalnym a mocą w ujęciu modelowym wyznaczonej z profilu siłowo-szybkościowego?

2.2. Hipotezy badawcze

Analiza współczesnej literatury pozwoliła na postawienie następujących hipotez badawczych:

- H1: Wyznaczony profil siłowo-szybkościowy w wyskoku pionowym zawodników będzie różnił się od profilu grupy kontrolnej.
- H2: Analizowane parametry mechaniczne pracy mięśni (tj. średnia siła, prędkość, moc) będą istotnie zmniejszać się po protokole wysiłku fizycznego.
- H3: Zadany submaksymalny wysiłek fizyczny nie wpływa istotnie na zmianę profilu siłowo-szybkościowego, co oznaczać powinno proporcjonalne zmniejszanie się efektów mechanicznej pracy mięśni.
- H4: Zdolność kinestetycznego różnicowania nie ulegnie zmianie po zadanym wysiłku fizycznym.
- H5: Wykorzystana metoda wyznaczania profilu siłowo-szybkościowego pozwala na określenie rzeczywistej mocy maksymalnej badanego.

3. Materiał i metody

3.1. Materiał badawczy

W celu odpowiedzi na postawione pytania badawcze przebadano 2 grupy eksperymentalne składające się z 12 osób. Pierwszą grupę stanowili zawodnicy drużyn siatkarskich, natomiast w grupie kontrolnej znaleźli się studenci kierunku wychowanie fizyczne. Wielkość grup badanych oszacowana została na podstawie różnic w sile mięśni (McBride i wsp. 1999, Ugrinowitsch i wsp. 2007) wśród uczestników. Na podstawie wytycznych Cohena (1977) dla uzyskania mocy testu rzędu 0,8 i poziomu alfa 0,05, w danej metodologii wystarczające są grupy o liczebności 4-10 osób. Podstawowe charakterystyki grup zamieszczone zostały w tabeli 2. Wszelkie próby i pomiary wykonywane były na zasadzie dobrowolności, a w przypadku osób niepełnoletnich zgodę wyrazili ich opiekunowie prawni. Pomiary odbywały się w Pracowni Biomechaniki AWF Katowice. Badany w każdym momencie mógł odmówić dalszego udziału w badaniu bez podania przyczyny. Wykonywanie prób nie zagrażało zdrowiu osób je wykonujących, a badania były nieinwazyjne. Przed rozpoczęciem badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej nr 3/2014 z dnia 5 grudnia 2014.

Kryterium włączenia do grupy badanej:

- udział w rozgrywkach organizowanych minimum na poziomie 2 ligi,
- uczęszczanie na treningi siatkarskie minimum 3 razy w tygodniu
- siatkarski staż treningowy minimum 5 lat,
- płeć męska

Kryterium wyłączenia z grupy badanej:

- uraz aparatu ruchu w ostatnich sześciu miesiącach,
- równoczesne uczęszczanie na regularne treningi innej dyscypliny sportu.

Kryterium włączenia do grupy kontrolnej:

- płeć męska,
- studenci wydziału wychowania fizycznego.

Kryterium wyłączenia z grupy badanej:

- uraz aparatu ruchu w ostatnich sześciu miesiącach,
- zawodnicze doświadczenie w uprawianiu siatkówki.

Tabela 2. Charakterystyka grupy badanej i grupy kontrolnej

	Kontrolna (n=12)	Zawodnicy (n=12)
Wiek [lata]	22,15±1,86	17,5±0,52
Wysokość ciała [cm]	179±5,59	188,1±5,8
Masa ciała [kg]	74,08±7,79	79,6±10,2

3.2. Metody badawcze

W pracy zastosowano metodę eksperymentalną. W celu prawidłowego przebiegu badań użyto dwóch platform dynamograficznych znajdujących się na osobnych stanowiskach badawczych. Pierwszą z platform wykorzystywano do zbierania danych w celu stworzenia profili siłowo-szybkościowych, drugiej natomiast użyto do oceny spadku siły w protokole wysiłku fizycznego. Do rejestracji sił reakcji podłoża wykorzystana została platforma dynamograficzna (*AMTI, model OR 6-7*) rejestrująca siły (F_x , F_y , F_z) oraz momenty sił (M_x , M_y , M_z). Częstotliwość próbkowania platformy została ustalona na 1000 Hz. Zebrane dane poddane zostały dalszej analizie w środowisku Matlab ver. r2017b (Mathworks Inc., Natick, MA, USA), co umożliwiło wyliczenie parametrów takich jak wysokość wyskoku (HJ), głębokość zamachu (Hpo) prędkość maksymalną przemieszczania COP oraz wartość maksymalnego nacisku stóp na platformę w czasie wyskoku. Następnie zostały wyliczone parametry niezbędne do stworzenia profili siłowo-szybkościowych:

- średnia prędkość (V_{mean}),

$$V_{mean} \left[\frac{m}{s} \right] = \sqrt{0,5 \times g \times HJ}$$

gdzie: HJ - wysokość wyskoku, g - stała grawitacji

- średnia siła (F_{mean}),

$$F_{mean} [N] = m \times g \times \left(\frac{HJ}{Hpo} + 1 \right)$$

gdzie: m - masa badanego, g - stała grawitacji, HJ - wysokość wyskoku, Hpo - głębokość zamachu

- średnia moc (P_{mean}),

$$P_{mean} [W] = F_{mean} \times V_{mean}$$

gdzie: F_{mean} (średnia siła), V_{mean} (średnia prędkość)

- współczynnik nachylenia krzywej regresji,

$$a = \frac{F_0}{V_0}$$

gdzie: F_0 - maksymalna siła przy $V = 0$, a V_0 - maksymalna prędkość przy $F = 0$ m/s

- współczynnik różnicowania wg. Raczka (Raczek i wsp. 2002).

$$WR = \frac{(\text{wzorzec} - \text{wynik uzyskany})}{\text{wzorzec}} \times 100$$

Do kontroli wysiłku fizycznego została wykorzystana platforma dynamograficzna (Kistler, AGWinterthur, Schweiz, Model 9281C), za pomocą której w czasie rzeczywistym analizowana była siła nacisku stóp na podłoże w wyizolowanej pozycji (szczegółowy opis znajduje się poniżej).

Procedura badawcza stworzona została na podstawie doniesień w literaturze oraz badań pilotażowych przeprowadzonych w laboratorium biomechaniki.

Badanie poprzedzała, 7 minutowa rozgrzewka składająca się z 2 minut ćwiczeń o niskiej intensywności na rowerze stacjonarnym, 4 minut rozciągania dynamicznego oraz 1 minutowego ćwiczenia plajometrycznego (skakanie na skakance). Po etapie rozgrzewki nastąpiła właściwa procedura badawcza składająca się z 2 części (ocena maksymalnych zdolności siłowo-szybkościowych w wyskoku pionowym oraz ocena maksymalnych zdolności siłowo-szybkościowych po izometrycznym wysiłku fizycznym):

Część pierwsza zakłada wykonanie 18 wyskoków dosiężnych z rękoma na biodrach (*CMJ*) w trzech seriach:

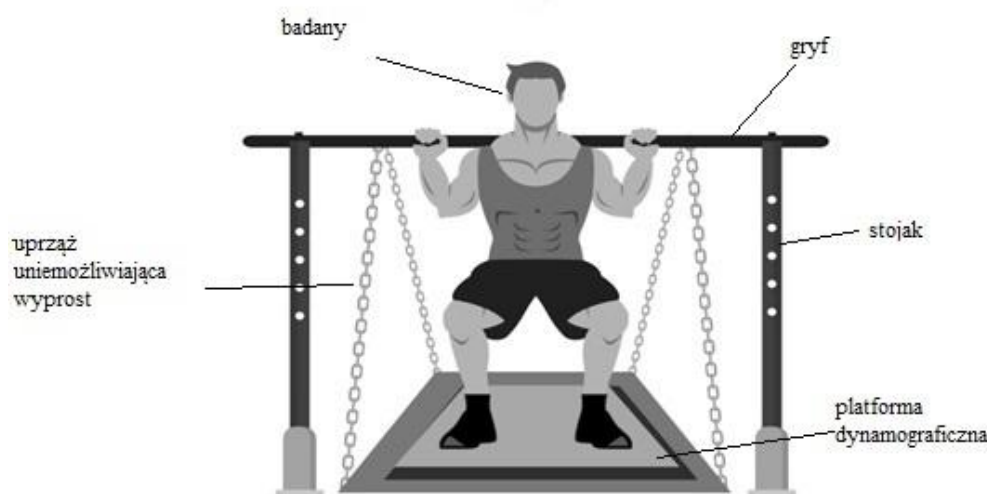
- seria 1 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość + trzy wyskoki na 50% możliwości bez dodatkowego obciążenia,
- seria 2 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość z obciążeniem 9 kg + trzy wyskoki na 50% możliwości z obciążeniem 9 kg,
- seria 3 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość z obciążeniem 27 kg + trzy wyskoki na 50% możliwości z obciążeniem 27 kg.

Przerwa pomiędzy seriami wynosiła 3 minuty aby wyeliminować skutki kumulacji zmęczenia spowodowanego wyskokami i w konsekwencji zaburzenie wiarygodności prób przez zmęczenie. Dodatkowe obciążenie aplikowane było w postaci kamizelki treningowej

z możliwością regulacji obciążenia zakładanej na tułów badanej osoby. Instrukcją przekazaną badanemu podczas prób zakładających wykonanie wyskoku na maksymalną wysokość była: „Wyskocz w górę najwyżej jak potrafisz”, natomiast podczas prób na 50% instrukcja brzmiała „Wyskocz w górę o połowę niżej względem maksymalnych wyskoków”. Maksymalne wyskoki poprzedzały bezpośrednio wyskoki realizowane na 50% możliwości i stanowiły bezpośredni punkt odniesienia dla badanych.

Druga część protokołu badania rozpoczynała się od pomiaru maksymalnej siły nacisku stóp badanego na platformę. Badany przyjmował pozycję półprzysiadu stojąc na platformie dynamograficznej, a specjalnie skonstruowana uprząż uniemożliwiała mu zmianę pozycji (ryc. 6). Kąt w stawie kolanowym wynosił 90°. Na komendę badany wykonywał pięciosekundowy maksymalny nacisk stóp na platformę poprzez próbę wyprostu w stawach biodrowym, kolanowym i skokowym, co było niemożliwe przez zastosowanie wcześniej wspomnianej uprząży. W rezultacie badany wykonywał maksymalny skurcz izometryczny. W celu zmotywowania badanego do maksymalnego wysiłku, prezentowano mu na ekranie monitora jego aktualną wartość wytwarzanej siły oraz zachęcano słownie do jej podniesienia. Uzyskana w pięciosekundowym oknie czasowym wartość szczytowa została użyta do oceny poziomu zmęczenia osoby badanej podczas wysiłku fizycznego, względem której oceniany był spadek siły maksymalnej. W kolejnym etapie badany przystępował do protokołu wysiłkowego, który miał wywołać zmęczenie definiowane jako „niezdolność układu nerwowo-mięśniowego do utrzymania wymaganej lub oczekiwanej wartości siły” (Edwards 1981). Protokół wysiłkowy zakładał 15 sekundowy maksymalny nacisk stóp na platformę w identycznym układzie jak podczas oceny maksymalnego skurczu izometrycznego. Badany powtarzał interwał składający się z 15 sekundowego maksymalnego skurczu mięśni i 5 sekundowej przerwy do momentu kiedy wartość siły nacisku stóp na platformę zmniejszy się o 50% przez połowę 15 sekundowej próby (James i wsp.2010). Założono, że protokół ten będzie powodować zmęczenie mięśni kończyn dolnych uczestniczących w skurczu izometrycznym z powodu ograniczenia przepływu krwi i nagromadzenie metabolicznych produktów ubocznych wysiłku fizycznego (Gandevia 2001). Po osiągnięciu założonego poziomu zmęczenia tj. spadku siły nacisku stóp na platformę o 50% badany wykonywał powtórnie opisaną wcześniej procedurę badawczą opartą na wyskokach. Protokół zmęczenia powtarzany był przed każdą zmianą warunków tj. dodatkowym obciążeniem, w celu zapewnienia standardowych warunków zmęczenia:

- seria 1 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość wykonywane bezpośrednio po wysiłku + trzy wyskoki na 50% możliwości bez dodatkowego obciążenia,
- seria 2 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość z obciążeniem 9 kg wykonywane bezpośrednio po wysiłku + trzy wyskoki na 50% możliwości z obciążeniem 9 kg,
- seria 3 – trzy wyskoki na maksymalną wysokość z obciążeniem 27 kg wykonywane bezpośrednio po wysiłku + trzy wyskoki na 50% możliwości z obciążeniem 27 kg.



Rycina 6. Rycina obrazująca protokół wysiłkowy – piętnastosekundowy maksymalny skurcz izometryczny wykonywany w półprzysiadzie z ograniczeniem możliwości wykonania wyprost.

Do wyznaczenia profilu siłowo-szybkościowego zarówno dla prób na maksymalną wysokość jak i na 50% maksymalnej wysokości został wykorzystany model regresji liniowej (Vandewalle i wsp. 1987) powstały z danych zarejestrowanych podczas wykonania wyskoku dosiężnego bez zamachu ramion (*CMJ*). Zgodnie z wytycznymi Jarica (2016) do stworzenia modelu siłowo-szybkościowego zastosowano metodę dwu punktową, która pozwala stworzyć model wykorzystując dane zarejestrowane tylko w dwóch skrajnych warunkach badania tj. bez dodatkowego obciążenia i z obciążeniem 27 kg. Jest to tzw. metoda dwu punktowa. Autor tej metody wykazał wysoką rzetelność i trafność ($r = 0.994$) dla wyskoku pionowego w odniesieniu do tych samych parametrów w ramach standardowego sześciopunktowego modelu siłowo-szybkościowego.

3.3.Procedury obliczeniowe i metody statystyczne

Dane zarejestrowane przez platformę tensometryczną (AMTI, model OR 6-7) zostały zaimportowane do środowiska MatLAB (Mathworks Inc., Natick, MA, USA) w celu uzyskania pożądanych parametrów pracy mięśniowej (maksymalna siła, prędkość, moc).

Uzyskane dane zostały poddane dalszej analizie zgodnie z wytycznymi literaturowymi (Jaric 2015):

- dla surowych danych zostały obliczone średnie i odchylenia standardowe dla każdego parametru w każdej grupie badanej, następnie próby odbiegające wartością dwóch odchyłeń standardowych od średniej wartości w całej grupie zostały odrzucone,
- każdy badany wykonywał po trzy wyskoki, z których pierwszy odrzucano, a do dalszej analizy wybierano ten, w którym osiągnął wyższą wysokość w każdym warunku,
- dla prób na 50% możliwości głębokość fazy zamachu została znormalizowana do wartości fazy zamachu z wyskoku maksymalnego,
- dla prób badających różnicowanie wyskoku, czyli prób na 50% możliwości wartości parametrów z drugiej i trzeciej próby zostały uśrednione,
- stworzono indywidualne profile dla każdego badanego w czterech warunkach (maksymalny wyskok przed wysiłkiem, maksymalny wyskok po wysiłku, 50% możliwości przed wysiłkiem i 50% możliwości po wysiłku), dzięki którym wyznaczono F_0, V_0 oraz współczynnik nachylenia profilu regresji „a”.

$$a = \frac{F_0}{V_0}$$

- średnie parametry F_{mean} i V_{mean} badanych posłużyły do wyznaczenia profilu siłowo-szybkościowego ($F-V$) całej grupy w konkretnym warunku.
- dla prób na 50% możliwości wyliczono współczynnik różnicowania wg. Raczka (Raczek, Mynarski i Ljach 2002).

Wykorzystanie procentowego współczynnika różnicowania w celu oceny i porównania przejawów tej zdolności zasugerował Waśkiewicz (2002), pisząc, że wykorzystanie bezwzględnych wartości różnicowanych zdolności jest niewystarczające i pozwala jedynie na ocenę maksymalnych możliwości.

Dane uzyskane w ten sposób zostały poddane dalszej analizie statystycznej. Pierwszym jej krokiem była analiza danych z wykorzystaniem podstawowych metod statystyki opisowej. Jako kryterium doboru metod do dalszych analiz została przyjęta normalność rozkładu, która została wyznaczona z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka. W celu określenia wpływu wysiłku fizycznego na zmianę profilu siłowo-szybkościowego wykonany został test t Studenta dla prób zależnych w przypadku uzyskania rozkładu zgodnego z rozkładem normalnym lub w sytuacji braku zgodności z rozkładem normalnym, nieparametryczny test U Manna-Whitneya. Dla wszystkich przeprowadzonych testów przyjęty został poziom istotności $p \leq 0,05$. Dla ujednoznaczniania i potwierdzenia otrzymanych wyników przeprowadzony został dodatkowo test wielkości efektu (*ES*) rekomendowany dla testu dla prób zależnych, a mianowicie test d Cohena, który jest zdefiniowany jako różnica między średnimi podzielona przez odchylenie standardowe w próbie:

$$d = \frac{x_1 - x_2}{s}$$

gdzie: X_1 i X_2 - średnie arytmetyczne poszczególnych grup, a „s” odpowiada odchyleniu standardowemu całej grupy.

Interpretacja tego testu polega na porównaniu uzyskanego wyniku z szablony danymi gdzie uzyskany wynik $d < 0,3$ świadczy o słabym efekcie, współczynnik pomiędzy 0,3 a 0,8 jako średni, a wyniki $d > 0,8$ uznawane są za duży efekt (Cohen 1977). Wszystkie analizy statystyczne wykonano z wykorzystaniem oprogramowania STATISTICA v. 13.1 (StatSoft, Inc. 2016).

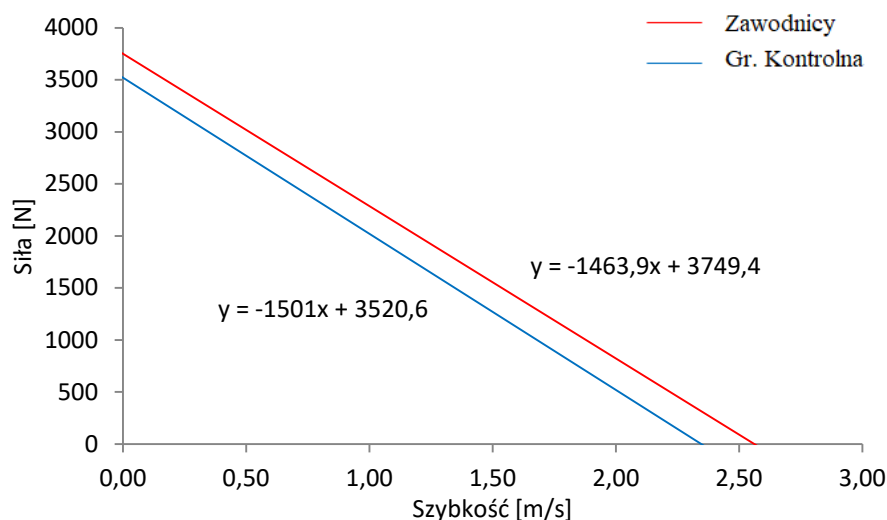
4. Wyniki

Zebrane dane z urządzeń pomiarowych pozwoliły odpowiedzieć na postawione pytania badawcze, a tym samym poddać weryfikacji założone hipotezy badawcze. Wyniki badań przedstawiono w kolejności zgodnej z prezentowanymi hipotezami.

4.1. Porównanie profilu siłowo-szybkościowego wyskoku pionowego w grupie zawodników i kontrolnej.

Do weryfikacji pierwszej hipotezy badawczej posłużył test t Studenta dla prób zależnych, a porównanie dotyczyło współczynnika „a” pochodzącego z klasycznego równania regresji liniowej (*Slope*), charakteryzującego nachylenie krzywej regresji (opisany w części teoretycznej pracy jako profil siłowo-szybkościowy) pomiędzy zawodnikami i grupą kontrolną. Porównanie profili F-V dokonano we wszystkich czterech warunkach testowych tj. wyskoki maksymalne przed wysiłkiem, wyskoki maksymalne po protokole wysiłku, wyskoki na 50% wysokości przed wysiłkiem i 50% wysokości po wysiłku. Dodatkowo do oceny wielkości efektu wykorzystano współczynnik d Cohena.

Na rycinie 7 przedstawiono profil siłowo-szybkościowy w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoku na maksymalną wysokość, porównanie nie wykazało istotnej statystycznie różnicy (tab.3), natomiast zgodnie z oczekiwaniem u zawodników zarejestrowano wyższe parametry siły (F_0) i szybkości (V_0) niż w grupie kontrolnej. Szczegółowe wyniki porównania grup przedstawiono w tabeli 3.



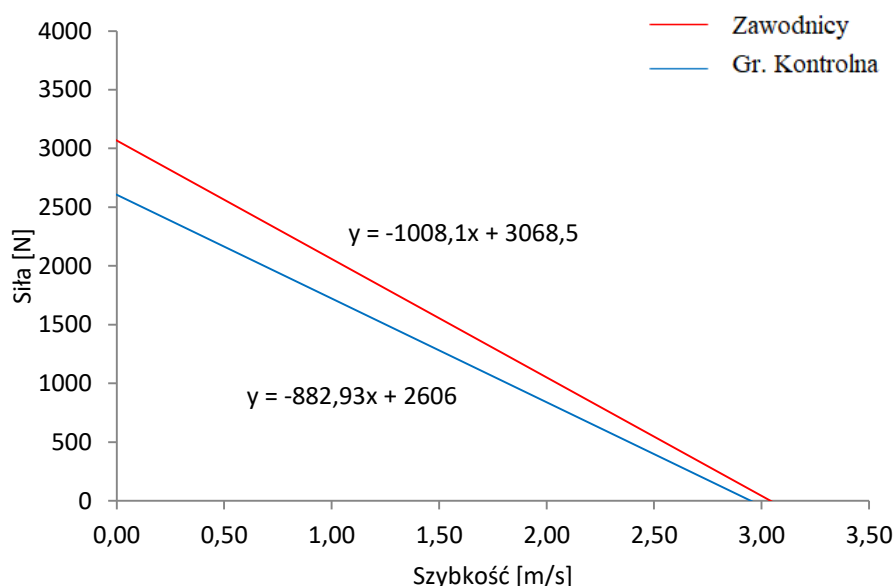
Rycina 7. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłku.

Tabela.3. Porównanie średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłku

zmienna	Średnia	Odch.st	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU95%	d
Slope_max_przed_zawodnicy	-1465	394							
Slope_max_przed_kontrolna	-1523	323	58,2	524	-0,384	0,708	-391	275	0,08

Legenda: *Slope_max_przed* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków maksymalnych, przed protokołem wysiłkowym.

Profile siłowo-szybkościowe wyskoku pionowego dla obu badanych grup po zadanym wysiłku fizycznym przedstawia rycina 8, oba profile zmniejszyły nachylenie względem osi poziomej co oznacza przesunięcie profilu w kierunku zdolności szybkościowych przy jednoczesnym zachowaniu wyższych jej wartości przez grupę siatkarzy. Podobnie jak przed wysiłkiem fizycznym profile nie różniły się istotnie statystycznie (tab. 4).



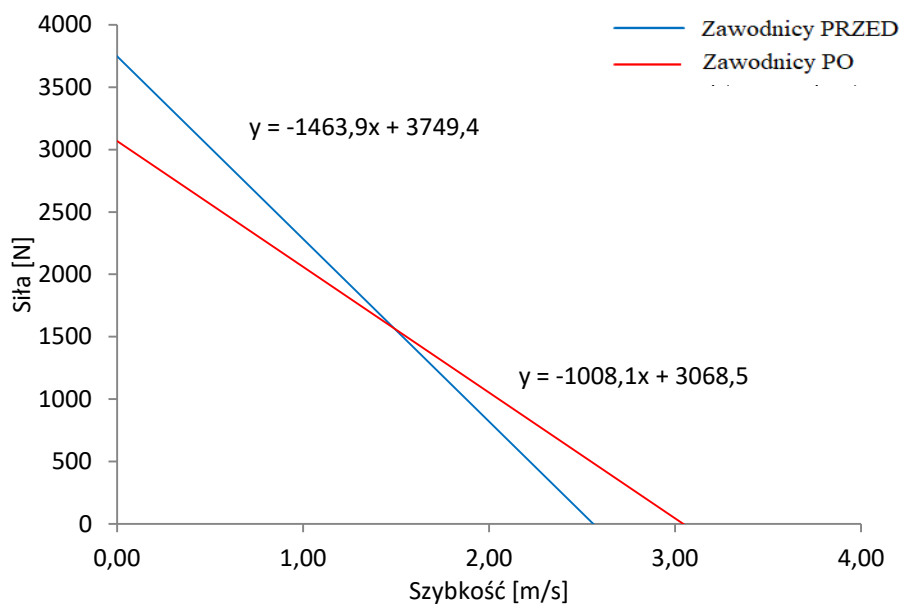
Rycina 8. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość po wykonaniu protokołu wysiłku.

Tabela 4. Porównanie średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość po wykonaniu protokołu wysiłku

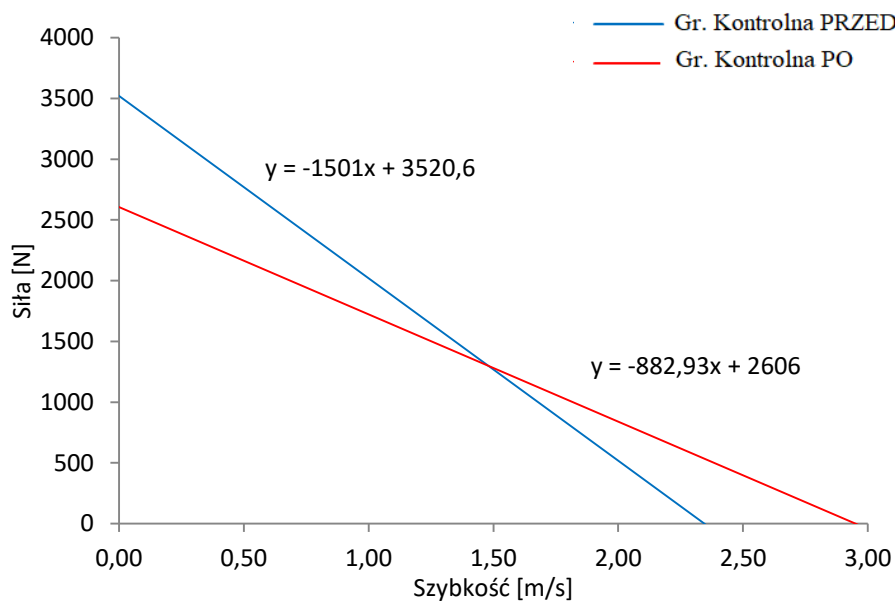
zmienna	Średnia	Odch. std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_max_po_zawodnicy	-1085	505							
Slope_max_po_kontrolna	-950	453	-134	799	-0,6	0,572	-373	642	0,29

Legenda: *Slope_max_po* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków maksymalnych, po protokołem wysiłkowym.

Porównanie wewnątrzgrupowe zawodników nie wykazało istotnego wpływu wysiłku fizycznego o charakterze izometrycznym na zmianę nachylenia średniego profilu siłowo-szybkościowego po przeprowadzonym protokole (ryc. 9, tab. 5). Ten sam wysiłek fizyczny w grupie kontrolnej spowodował istotne przesunięcie profilu w kierunku zdolności szybkościowych z jednoczesnym znacznym spadkiem siły (F_0) (ryc. 10, tab. 5).



Rycina 9. Profile F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.



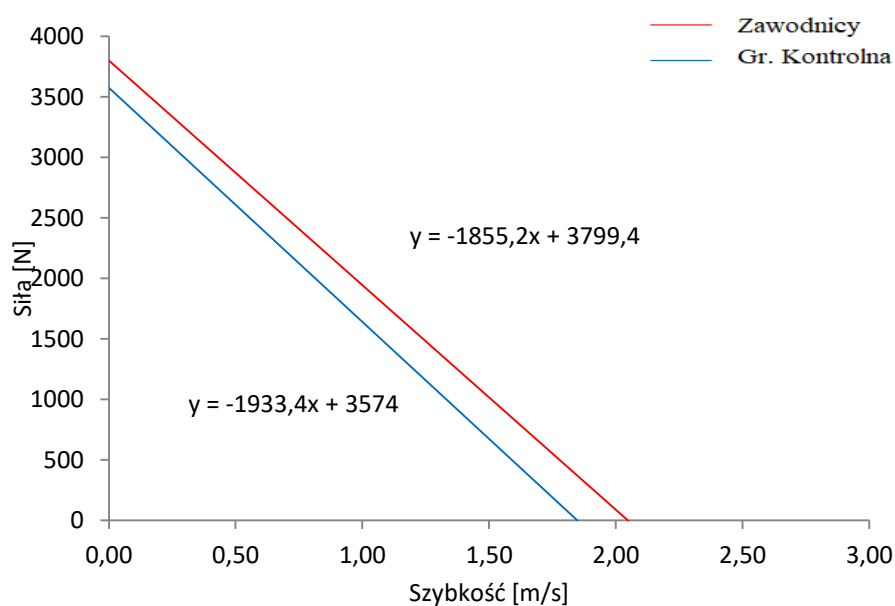
Rycina 10. Profile F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.

Tabela 5. Porównanie wewnątrzgrupowe średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość w obu warunkach

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_max_przed_zawodnicy	-1465	394							
Slope_max_po_zawodnicy	-1085	505	-379	669	-1,96	0,075	-45,7	805	0,88
Slope_max_przed_kontrolna	-1494	327							
Slope_max_po_kontrolna	-815	653	-679	636	-3,85	0,002	294	1063	1,52

Legenda: *Slope_max_przed* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków maksymalnych, przed protokołem wysiłkowym, *Slope_max_po* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków maksymalnych, po protokołem wysiłkowym.

W pracy dokonano również porównania profili F-V, podczas wyskoków pionowych na zadaną submaksymalną wysokość (połowa maksymalnych możliwości). Analiza międzygrupowa nie wykazała istotnych statystycznie różnic w próbie zarówno przed protokołem wysiłku (tab. 6), jak również po nim (tab. 7). Podobnie jak w poprzednich próbach przed wysiłkiem to zawodnicy wykazywali wyższe wartości parametrów siłowych (F_0) i szybkościowych (V_0) względem grupy kontrolnej (ryc. 11) natomiast różnica była nieznaczna. Protokół izometrycznego wysiłku fizycznego spowodował nieznaczny spadek F_0 w grupie zawodników (600 N) i większy spadek F_0 w grupie kontrolnej (1400 N) podczas prób submaksymalnego wyskoku. Profil F-V w grupie kontrolnej przesunął się w kierunku zdolności szybkościowych, grupa ta uzyskiwała wyższe wartości V_0 niż grupa badana (ryc. 12), niemniej jednak różnica wartości średniego współczynnika regresji między grupami nie były istotna statystycznie (tab. 7).

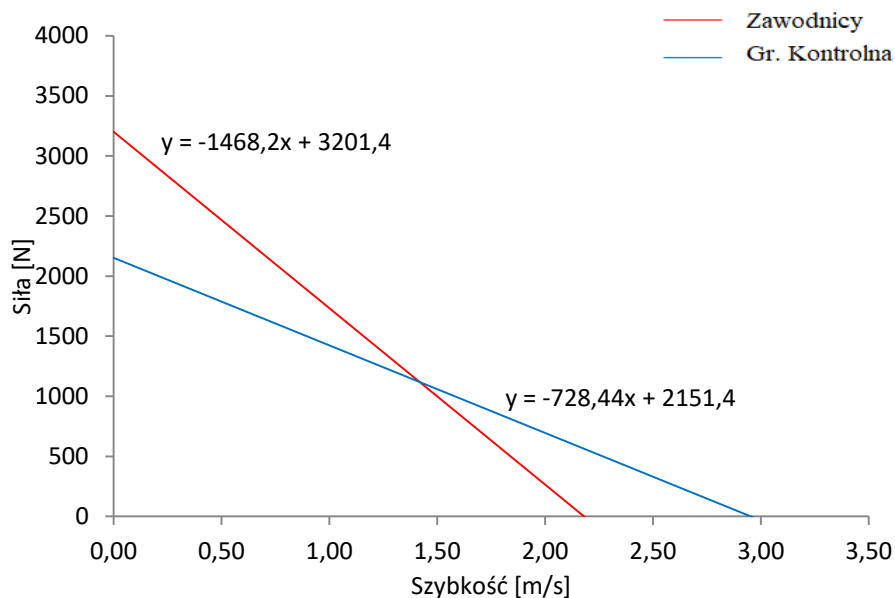


Rycina 11. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na 50% wysokość przed protokołem wysiłku.

Tabela 6. Porównanie średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na 50% wysokość przed protokołem wysiłku

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_50_przed_zawodnicy	-1749	1121							
Slope_50_przed_kontrolna	-1505	406	-244	1134	-0,7	0,476	-964	476	0,1

Legenda: *Slope_50_przed* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków na 50% możliwości, przed protokołem wysiłkowym.



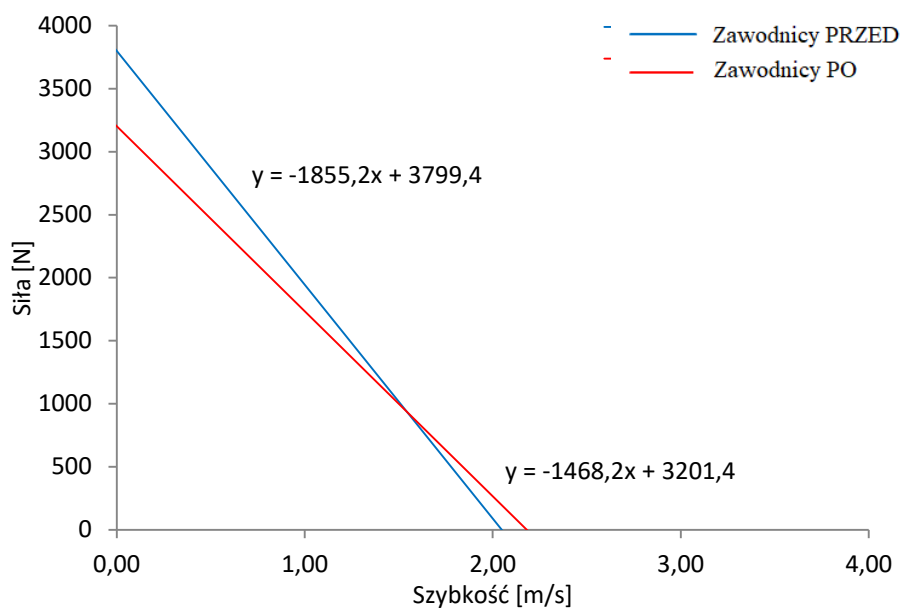
Rycina 12. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na 50% wysokość po wykonanym protokole wysiłku.

Tabela 7. Porównanie średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na 50% wysokości po wykonanym protokole wysiłku

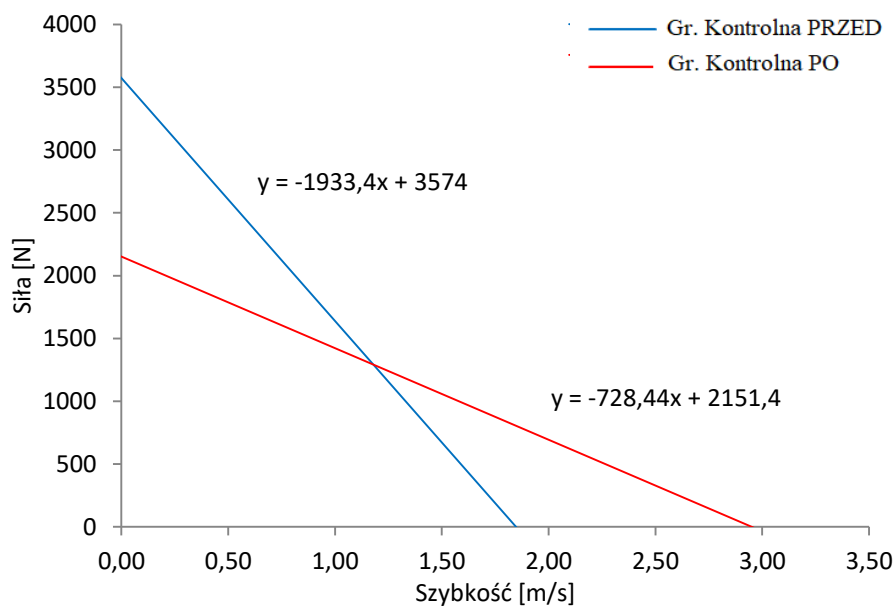
zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.std.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_50_po_zawodnicy	-1067	669							
Slope_50_po_kontrolna	-843	557	-224	915	-0,9	0,414	-805	357	0,5

Legenda: *Slope_50_po* – wartość współczynnik regresji podczas wyskoków na 50% możliwości, przed protokołem wysiłkowym.

Wewnątrzgrupowa analiza wyskoków pionowych na połowę maksymalnej wysokości wykazała podobną, nieistotną statystycznie różnicę dla zawodników (tab. 8) z tendencją do obniżenia siły (*F*) oraz wzrostu szybkości (*V*) (ryc. 13). Istotną statystycznie zmianę średniego profilu siłowo-szybkościowego na skutek wykonanego protokołu wysiłkowego wykazała analiza parametrów profilu grupy kontrolnej (tab. 8), w której po przeprowadzonych ćwiczeniach fizycznych profil przesunął się w kierunku zdolności szybkościowych (ryc. 14).



Rycina 13. Profile F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych na zadaną (50%) wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.



Rycina 14. Profile F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych na zadaną (50%) wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.

Tabela 8. Porównanie wewnątrzgrupowe średniego współczynnika regresji liniowej (*Slope*) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość w obu warunkach

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_50_przed_zawodnik	-1748	1120							
Slope_50_po_zawodnik	-1067	668	-681	1200	-1,97	0,075	-81,5	1444	0,77
Slope_50_przed_kontrolna	-1504	406							
Slope_50_po_kontrolna	-843	557	-661	652	-3,51	0,004	246	1076	1,52

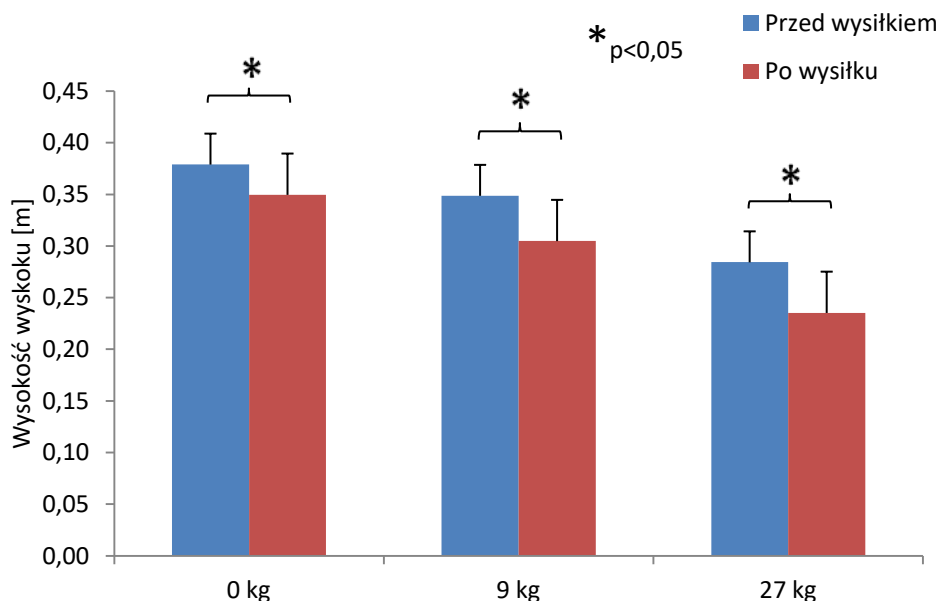
Legenda: *Slope_50_przed* – współczynnik regresji liniowej w wyskoku na 50% możliwości przed protokołem wysiłkowym, *Slope_50_po* – współczynnik regresji liniowej w wyskoku na 50% możliwości po protokole wysiłkowym.

Porównanie międzygrupowe nie wykazała w żadnym analizowanym warunku istotnych różnic, utrzymywał się natomiast trend wyższych wartości F_0 i V_0 w grupie siatkarzy. Jedyne istotne statystycznie różnice wykazane zostały podczas analiz wewnątrzgrupowych wśród uczestników grupy kontrolnej. Zaaplikowany wysiłek izometryczny wpłynął na zmianę średniego profilu F-V zarówno w wyskoku maksymalnym jak i submaksymalnym w grupie kontrolnej.

4.2. Wpływ wysiłku fizycznego na zmianę wartości parametrów pracy mięśni.

W celu weryfikacji drugiej hipotezy badawczej zakładającej zmniejszenie się wartości parametrów pracy mięśniowej po wykonaniu protokołu wysiłkowego dokonano porównania wyników uzyskanych przed wysiłkiem (*PW*) do wyników uzyskanych bezpośrednio po protokole interwałowego wysiłku izometrycznego w półprzysiadzie (*PO*), zarówno w grupie siatkarzy, jak również w grupie kontrolnej. Porównywane parametry pracy mięśni to: wysokość wyskoku (*HJ*), średnia siła (*Fmean*), średnia prędkość (*Vmean*), średnia moc (*Pmean*) oraz nachylenie krzywej regresji (*Slope*) w profilu siłowo-szybkościowym wyskoku pionowego. Do weryfikacji istotności zmian użyto testu t Studenta dla prób zależnych, dodatkowo do oceny mocy testu wykorzystano test d Cohena.

Pierwszym analizowanym parametrem pracy mięśni była wysokość wyskoku. Zarówno w grupie badanej zawodników jak i w grupie kontrolnej studentów wystąpiły istotne statystyczne zmiany wysokości wyskoku po wysiłku fizycznym (tab. 9, tab. 10). Wśród zawodników uprawiających siatkówkę spadek wysokości wyskoku wystąpił we wszystkich warunkach pomiarowych 0 kg, 9 kg i 27 kg (ryc. 15). Zmianę potwierdził również test wielkości efektu (*d*) w którym zmiany wysokości z 9 kg i 27 kg dodatkowego obciążenia plasowały się w przedziale „dużego efektu” $d > 0,8$ ($d=1,38$ i $d=1,46$), zaś w próbie bez dodatkowego obciążenia efekt był średni ($d=0,78$). Szczegółowe wartości testu t Studenta przedstawia tabela 9.



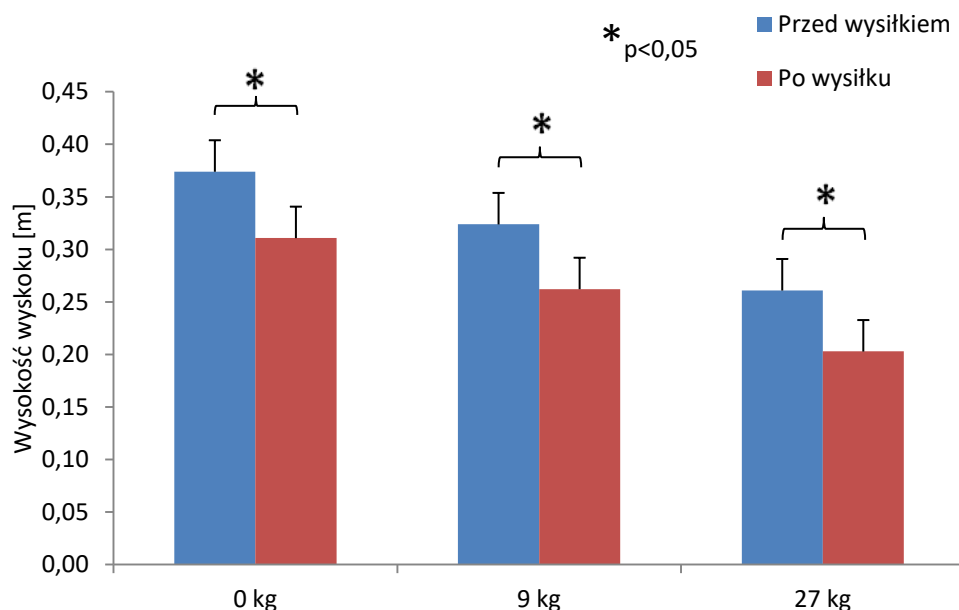
Rycina 15. Wysokość wyskoku (*HJ*) w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 9. Porównanie wysokości wyskoku (*HJ*) w grupie zawodników przed wysiłkiem (*PW*) do wyników po protokole wysiłku (*PO*)

zmienne	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU -95%	PU 95%	d
Zawodnicy_HJ_0kg_PW	0,379	0,029							
Zawodnicy_HJ_0kg_PO	0,35	0,047	0,029	0,028	3,7	0,004	0,012	0,047	0,8
Zawodnicy_HJ_9kg_PW	0,349	0,031							
Zawodnicy_HJ_9kg_PO	0,305	0,036	0,044	0,02	7,5	<0,001	0,031	0,057	1,4
Zawodnicy_HJ_27kg_PW	0,284	0,037							
Zawodnicy_HJ_27kg_PO	0,235	0,032	0,049	0,027	6,2	<0,001	0,032	0,066	1,5

Legenda: HJ_0kg_PW – wysokość wyskoku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, HJ_0kg_PO – wysokość wyskoku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokołem wysiłku.

Istotne statystycznie różnice wystąpiły również w grupie studentów, gdzie podobnie jak w przypadku grupy badanej, nastąpił przewidywany spadek wysokości skoku (*HJ*) w każdym z warunków pomiarowych (ryc. 16). Wyniki testu *t* Studenta dla średniej wysokości wyskoku pionowego w grupie kontrolnej oraz test wielkości efektu przedstawia tabela 10.



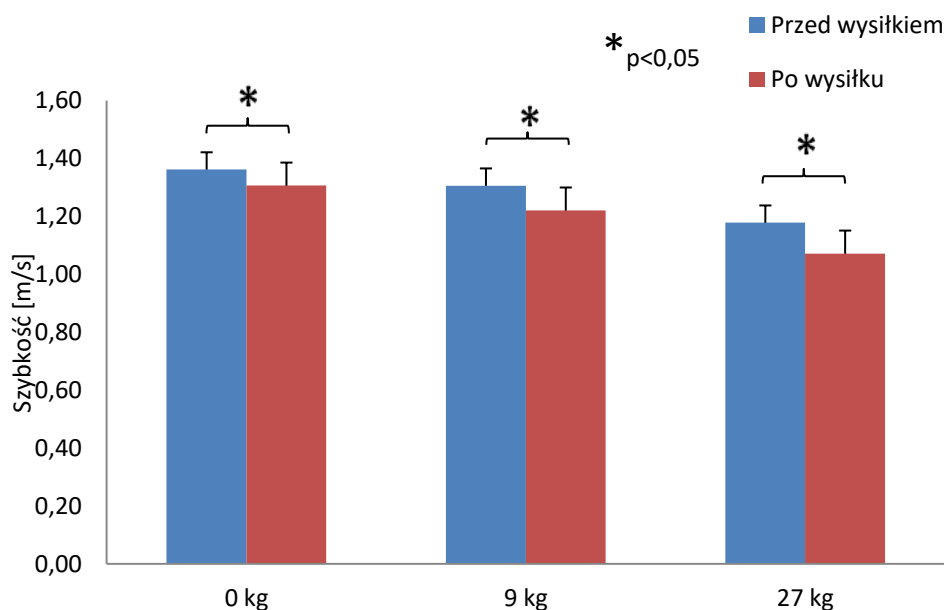
Rycina 16. Wysokość wyskoku (*HJ*) w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 10. Porównanie wysokości wyskoku (*HJ*) w grupie kontrolnej przed wysiłkiem (*PW*) do wyników po protokole wysiłku (*PO*)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Kontrolna_HJ_0kg_PW	0,374	0,039							
Kontrolna_HJ_0kg_PO	0,311	0,05	0,063	0,046	5	<0,001	0,036	0,091	1,5
Kontrolna_HJ_9kg_PW	0,324	0,034							
Kontrolna_HJ_9kg_PO	0,262	0,036	0,062	0,039	5,7	<0,001	0,038	0,085	1,8
Kontrolna_HJ_27kg_PW	0,261	0,034							
Kontrolna_HJ_27kg_PO	0,203	0,031	0,058	0,038	5,4	<0,001	0,035	0,081	1,9

Legenda: HJ_0kg_PW – wysokość wyskoku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, HJ_0kg_PO – wysokość wyskoku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokołem wysiłku.

Drugim z parametrów pracy mięśni poddanych analizie była średnia szybkość przemieszczania się ogólnego środka ciężkości (*OSC*) podczas fazy odbicia w wyskoku pionowym. Zadany wysiłek fizyczny wpłynął na istotny spadek rejestrowanej szybkości we wszystkich trzech warunkach pomiarowych w grupie zawodników (ryc. 17, tab. 11).



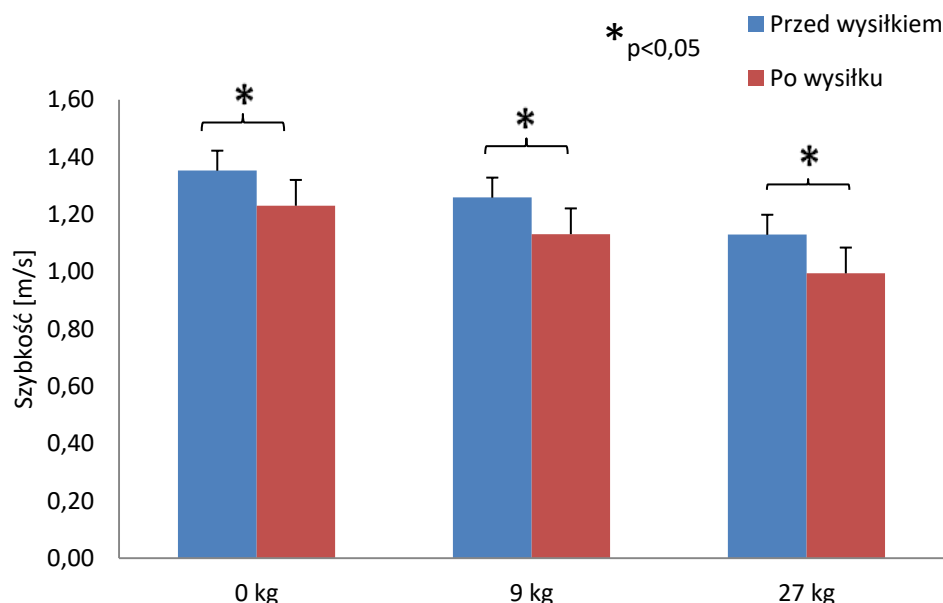
Rycina 17. Średnia szybkość (V_{mean}) przemieszczania ośrodka ciężkości ciała podczas wyskoku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 11. Porównanie średniej szybkości (V_{mean}) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Zawodnicy_Vmean_0kg_PW	1,36	0,053							
Zawodnicy_mean_0kg_PO	1,31	0,088	0,056	0,052	3,7	0,004	0,022	0,089	0,8
Zawodnicy_Vmean_9kg_PW	1,31	0,058							
Zawodnicy_Vmean_9kg_PO	1,22	0,072	0,086	0,041	7,2	<0,001	0,06	0,112	1,4
Zawodnicy_Vmean_27kg_PW	1,18	0,074							
Zawodnicy_Vmean_27kg_PO	1,07	0,073	0,107	0,057	6,5	0,004	0,071	0,143	1,5

Legenda: $V_{mean_0kg_PW}$ – średnia szybkość przemieszczania ogólnego środka ciężkości z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, $V_{mean_0kg_PO}$ – średnia szybkość przemieszczania ogólnego środka ciężkości z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Podobny wpływ wysiłku fizycznego obserwowano w grupie kontrolnej (ryc. 18), gdzie również średnia prędkość (V_{mean}) zmieniła się istotnie we wszystkich warunkach pomiarowych (tab. 12).



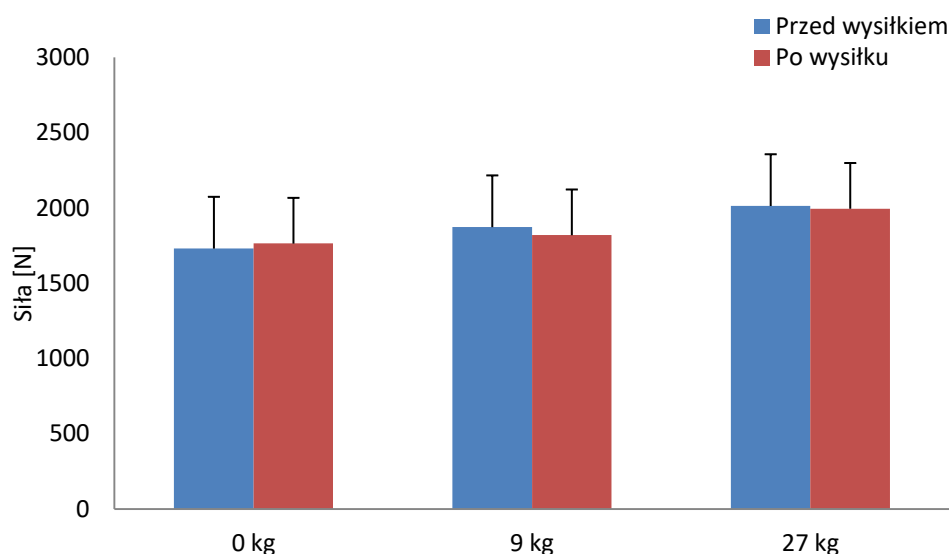
Rycina 18. Średnia szybkość (V_{mean}) przemieszczania środka ciężkości ciała podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 12. Porównanie średniej szybkości (V_{mean}) w grupie kontrolnej przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Kontrolna_Vmean_0kg_PW	1,35	0,071							
Kontrolna_Vmean_0kg_PO	1,23	0,104	0,122	0,093	4,7	<0,001	0,065	0,178	1,4
Kontrolna_Vmean_9kg_PW	1,26	0,067							
Kontrolna_Vmean_9kg_PO	1,13	0,08	0,127	0,084	5,5	<0,001	0,076	0,178	1,8
Kontrolna_Vmean_27kg_PW	1,13	0,074							
Kontrolna_Vmean_27kg_PO	0,995	0,079	0,135	0,091	5,3	<0,001	0,079	0,189	1,8

Legenda: $V_{mean_0kg_PW}$ – średnia szybkość przemieszczania ogólnego środka ciężkości z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, $V_{mean_0kg_PO}$ – średnia szybkość przemieszczania ogólnego środka ciężkości z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Kolejnym parametrem, którego zmianę po wykonaniu protokołu wysiłku fizycznego analizowano była wartość średniej siły nacisku stóp na podłoże podczas fazy wyskoku. Nie zaobserwowano istotnych statystycznie zmian w wartościach F_{mean} w grupie zawodników w próbach bez dodatkowego obciążenia zewnętrznego jak również w próbach z dodatkowym obciążeniem 9 kg i 27 kg (ryc. 19). W próbach bez dodatkowego obciążenia nastąpił nieistotny statystycznie wzrost generowanej siły ($p=0,429$, $d=0,1$). Natomiast, podczas badania w warunkach dodatkowego obciążenia wynoszącego 9 kg i 27 kg, nastąpił nieistotny statystycznie spadek siły (tab. 13).



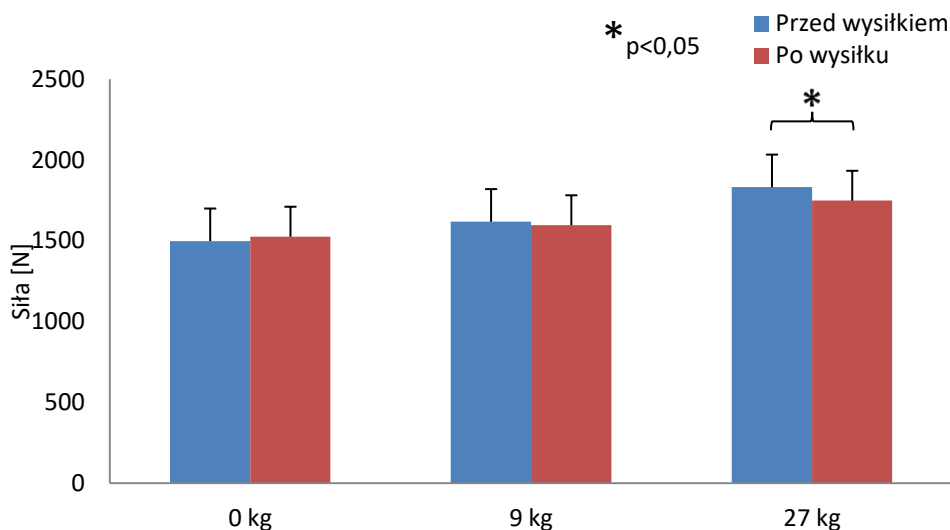
Rycina 19. Średnia siła (F_{mean}) nacisku stóp na platformę podczas wysiłku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 13. Porównanie średniej siły (F_{mean}) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Zawodnicy_Fmean_0kg_PW	1730,1	348,7							
Zawodnicy_Fmean_0kg_PO	1763	309,6	-33	139,1	-0,8	0,429	-121,3	55,4	0,1
Zawodnicy_Fmean_9kg_PW	1872,3	354,1							
Zawodnicy_Fmean_9kg_PO	1818,8	296,8	53,5	132,2	1,4	0,188	-30,5	137,6	0,2
Zawodnicy_Fmean_27kg_PW	2012,9	330,6							
Zawodnicy_Fmean_27kg_PO	1994,7	305,6	18,2	152,6	0,4	0,687	-78,8	115,2	0

Legenda: $F_{mean_0kg_PW}$ – średnia siła podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, $F_{mean_0kg_PO}$ – średnia siła podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Porównanie prób grupy kontrolnej po zadanym wysiłku fizycznym do prób przed wysiłkiem zarówno w przypadku warunków bez obciążenia i z dodatkowym obciążeniem 9 kg nie wykazało istotnych statystycznie zmian w średniej sile nacisku stóp na podłoże. Ponadto przeprowadzony test wielkości efektu (d) wykazał „małe” zmiany w zarejestrowanych parametrach F_{mean} (tab. 14). W ostatnim warunku pomiarowym z dodatkowym obciążeniem 27 kg zaobserwowano istotny statystycznie wpływ wysiłku fizycznego na średnią siłę nacisku stóp (F_{mean}), test t Student wykazał istotność na poziomie $p=0,03$, wielkość efektu zgodnie z wytycznymi Cohena była „średnia” ($d=0,42$).



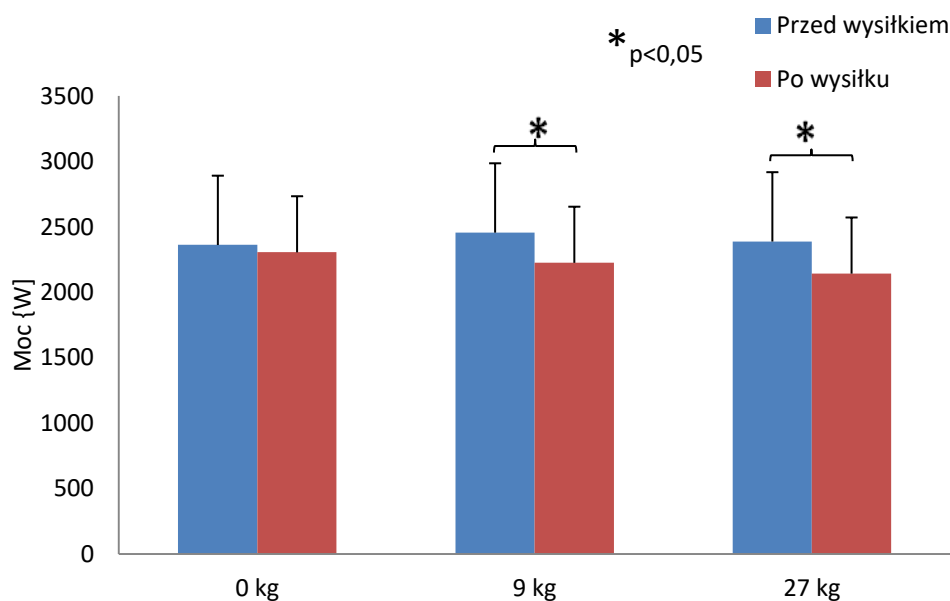
Rycina 20. Średnia siła (F_{mean}) nacisku stóp na podłoże podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 14. Porównanie średniej siły (F_{mean}) w grupie studentów przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Kontrolna_Fmean_0kg_PW	1497,8	200,9							
Kontrolna_Fmean_0kg_PO	1525,7	163	-28	113,7	-0,9	0,393	-96,7	40,7	0,2
Kontrolna_Fmean_9kg_PW	1617,9	208,4							
Kontrolna_Fmean_9kg_PO	1596,5	177,4	21,4	134,8	0,6	0,578	-60,1	102,9	0,1
Kontrolna_Fmean_27kg_PW	1831,3	198,2							
Kontrolna_Fmean_27kg_PO	1748,1	216,3	83,2	122,3	2,5	0,03	9,27	157,1	0,4

Legenda: Fmean_0kg_PW – średnia siła podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, Fmean_0kg_PO – średnia siła podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Rycina 21 przedstawia porównanie wartości ostatniej analizowanej zmiennej pracy mięśniowej w grupie sportowców. Wyniki analizy średniej mocy (P_{mean}) uzyskanej w wyskoku pionowym grupie zawodników podczas próby bez dodatkowego obciążenia nie wykazały istotnych statystycznie zmian generowanej mocy ($p=0,227$, $d=0,12$). Natomiast podczas warunków z dodatkowym obciążeniem, zarówno dla 9 kg i 27 kg, nastąpił istotny spadek wytwarzanej mocy po wykonaniu protokołu wysiłkowego ($p<0,001$, $d=0,5$; $p=0,006$, $d=0,6$) (ryc. 21). Szczegółowe wyniki testu t Student przedstawiono w tabeli 15.



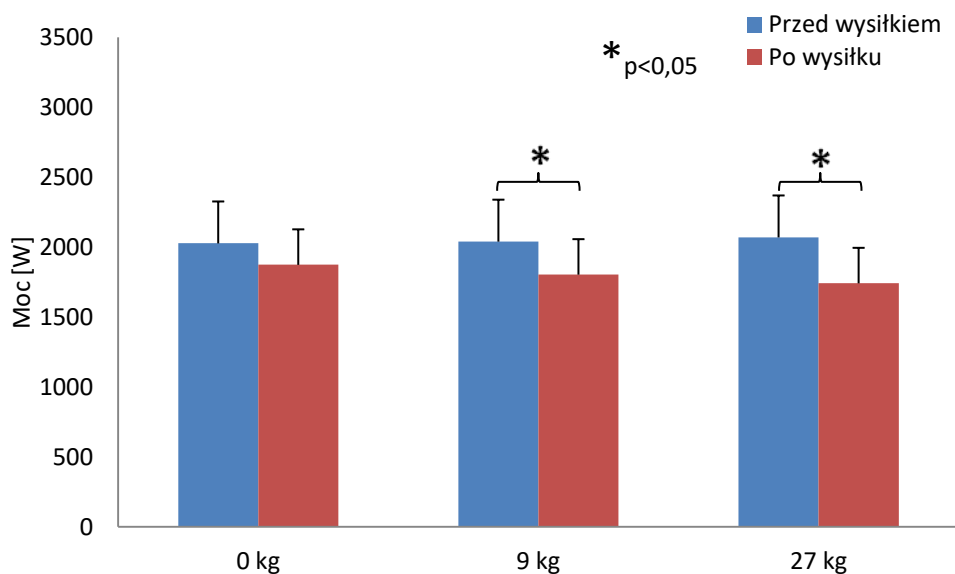
Rycina 21. Średnia moc (P_{mean}) podczas wyskoku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 15. Porównanie średniej mocy (P_{mean}) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Zawodnicy_Pmean_0kg_PW	2361,8	518,5							
Zawodnicy_Pmean_0kg_PO	2305,7	456,3	56,2	152,2	1,3	0,227	-40,5	152,9	0,1
Zawodnicy_Pmean_9kg_PW	2456,6	546,5							
Zawodnicy_Pmean_9kg_PO	2225,8	433,2	230,8	169,5	4,7	0,001	123,1	338,5	0,5
Zawodnicy_Pmean_27kg_PW	2388,5	527,3							
Zawodnicy_Pmean_27kg_PO	2143,5	399,1	245,1	255,6	3,3	0,007	82,7	407,5	0,6

Legenda: Pmean_0kg_PW – średnia moc podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, Pmean_0kg_PO – średnia moc podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Wyniki uzyskane przez grupę kontrolną podobnie jak w grupie badanej, wykazały istotny statystycznie spadek generowanej mocy w próbach z dodatkowym obciążeniem 9 kg i 27 kg (tab. 16). Uzyskane wartości P_{mean} przedstawiono na rycinie 22. Protokół wysiłku nie spowodował istotnego obniżenia wartości średniej mocy tylko w próbie bez dodatkowego obciążenia zewnętrznego (tab. 16).



Rycina 22. Średnia moc (P_{mean}) podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).

Tabela 16. Porównanie średniej mocy (P_{mean}) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Kontrolna_Pmean_0kg_PW	2028,1	306,3							
Kontrolna_Pmean_0kg_PO	1874,6	239,4	153,4	256,6	2,2	0,052	-1,63	308,5	0,6
Kontrolna_Pmean_9kg_PW	2040,8	311,2							
Kontrolna_Pmean_9kg_PO	1804,6	230,4	236,2	231,8	3,7	0,003	96,2	376,3	0,9
Kontrolna_Pmean_27kg_PW	2071	284,7							
Kontrolna_Pmean_27kg_PO	1742,5	293,5	328,5	267,7	4,4	0,001	166,7	490,2	1,2

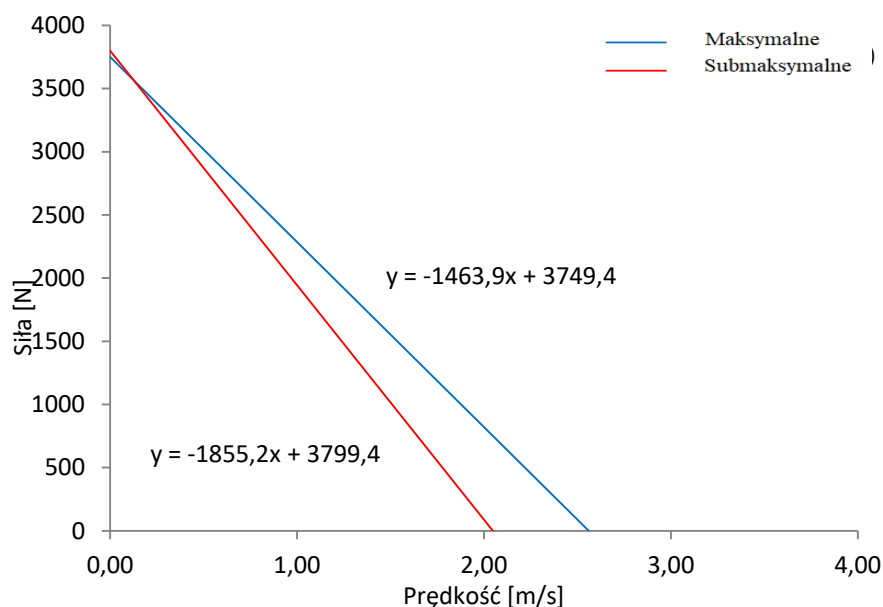
Legenda: Pmean_0kg_PW – średnia moc podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) przed protokołem wysiłku, Pmean_0kg_PO – średnia moc podczas fazy koncentrycznej z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg) po protokole wysiłku.

Protokół wysiłku fizycznego któremu poddawani zostali badani podczas wyskoków maksymalnych wpływał istotnie statystycznie na obniżenie wysokości wyskoku (HJ) oraz na średnią szybkość (V_{mean}). Analizując średnią siłę (F_{mean}) tylko z dodatkowym obciążeniem 27 kg w grupie kontrolnej wykazano istotną zmianę wartości. W parametrze średniej mocy (P_{mean}) wysiłek fizyczny wpływał istotnie podczas prób z dodatkowym obciążeniem 9 kg i 27 kg.

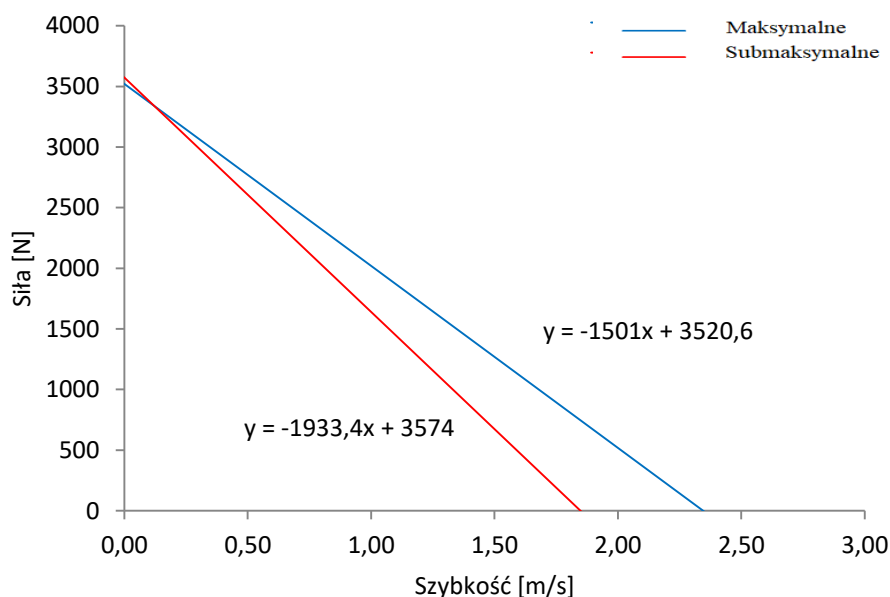
4.3. Wpływ zadania w postaci submaksymalnych wyskoków o zadanej wysokości na profil siłowo-szybkościowy

Do weryfikacji trzeciej i czwartej hipotezy badawczej ponownie użyto testu t Studenta w celu porównania średniego współczynnika regresji liniowej, odzwierciedlającego nachylenie krzywej regresji w obu badanych grupach. Analizowane parametry (*Slope*) dotyczyły wyskoków maksymalnych i submaksymalnych zarejestrowanych przed protokołem wysiłku i po jego zakończeniu. Dodatkowo dokonano analizy współczynnika różnicowania (*WR*) kluczowych parametrów pracy mięśni w celu oceny dokładności wykonania założonego zadania. Jako wzorcowy zastosowano WR uzyskany w próbie bez dodatkowego obciążenia i przed wykonaniem protokołu zmęczenia. Wartość wzorcową porównano do WR uzyskanego w próbach z dodatkowym obciążeniem 9 kg, 27 kg i próbie po wysiłku fizycznym bez dodatkowego obciążenia.

Analiza zmian wartości średniego współczynnika regresji liniowej w grupie siatkarki i grupie kontrolnej nie wykazała istotnych zmian (tab. 17), przed wysiłkiem zaobserwowano niemalże identyczną wartość F_0 (3799 N i 3749 N) dla siatkarki i (3574 N i 3520 N) w grupie kontrolnej podczas prób maksymalnych i submaksymalnych. Drugi z parametrów V_0 w obu badanych grupach znacznie obniżył swoją wartość podczas prób zakładających różnicowanie efektu wyskoku (ryc. 23).



Rycina 23. Profil F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych przed protokołem wysiłkowym.



Rycina 24. Profil F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych przed protokołem wysiłkowym.

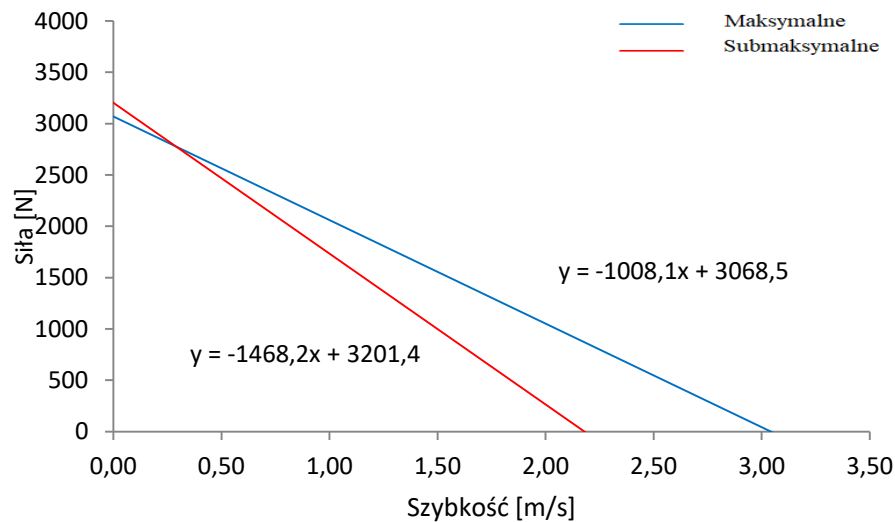
Tabela 17. Porównanie średniego wskaźnika nachylenia profilu (*Slope*) przed wysiłkiem w grupie zawodników i kontrolnej podczas wyskoków maksymalnych i na 50% możliwości

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_max_przed_zawodnicy	-1465	394							
Slope_50_przed_zawodnicy	-1748	1120	283	1215	0,807	0,436	-1055	488	0,35

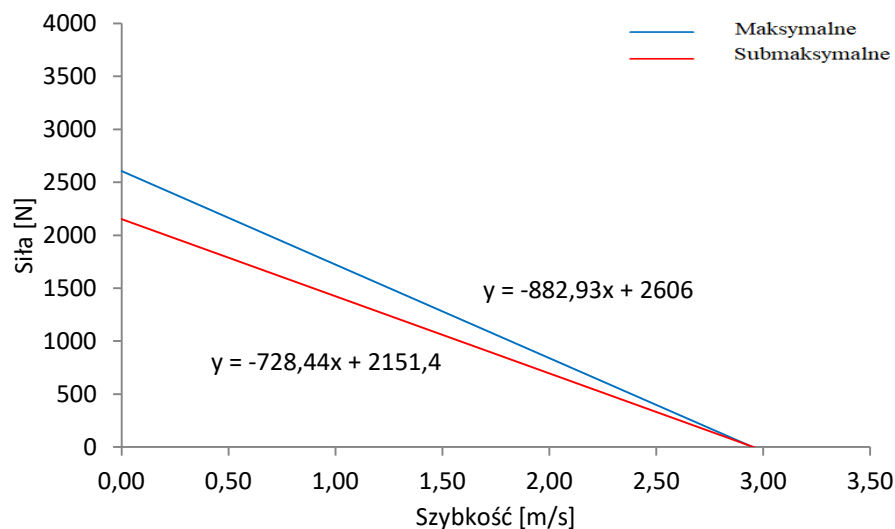
Slope_max_przed_kontrolna	-1523	323							
Slope_50_przed_kontrolna	-1504	406	-18,9	420	-0,155	0,878	-248	286	0,05

Legenda: *Slope_max_przed* – współczynnik regresji liniowej w wysoku na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłkowym, *Slope_50_po* - współczynnik regresji liniowej w wysoku na 50% możliwości po protokole wysiłkowym.

Wyznaczony i analizowany profil siłowo-szybkościowy wyskoku pionowego po protokole wysiłku fizycznego dla prób maksymalnych i submaksymalnych również nie wykazał istotnych różnic w żadnej badanej grupie (tab. 18). Niemniej jednak zaobserwowano różne zmiany wartości poszczególnych komponentów profilu (F_0 i V_0). Wśród siatkarzy został zachowany trend zmniejszenia się parametru V_0 przy nieznacznym wzroście F_0 w próbach submaksymalnych (ryc. 25). W grupie kontrolnej natomiast po wysiłku izometrycznym ujawnił się spadek komponentu siłowego (F_0) przy niezmiennym V_0 (ryc. 26).



Rycina 25. Profil F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych po wykonaniu protokołem wysiłkowego.



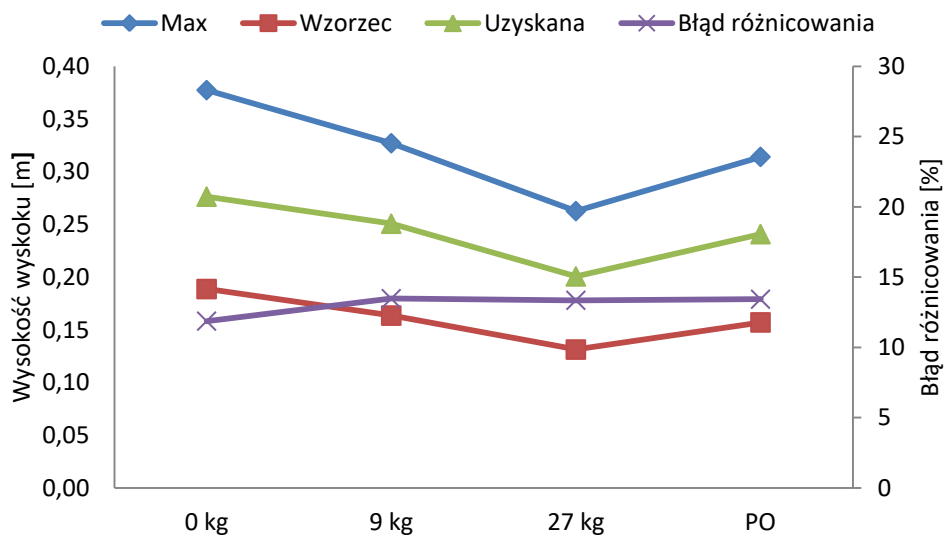
Rycina 26. Profil F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych po wykonaniu protokołem wysiłkowego.

Tabela 18. Porównanie średniego wskaźnika nachylenia profilu (*Slope*) po wysiłku fizycznym w grupie zawodników i kontrolnej podczas wyskoków maksymalnych i na 50% możliwości

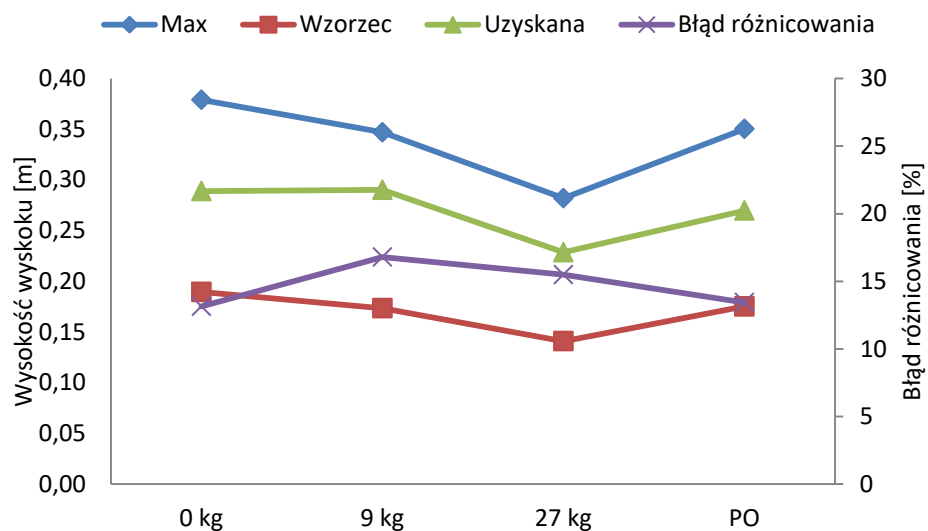
zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	p	PU-95%	PU 95%	d
Slope_max_po_zawodnicy	-1085	505							
Slope_50_po_zawodnicy	-1067	668	-18,1	529	-0,118	0,907	-318	354	0,03
Slope_max_po_kontrolna	-950	453							
Slope_50_po_kontrolna	-843	557	-107	650	-0,570	0,576	-305	521	0,22

Legenda: *Slope_max_przed* – współczynnik regresji liniowej w wysoku na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłkowym, *Slope_50_po* - współczynnik regresji liniowej w wysoku na 50% możliwości po protokole wysiłkowym.

W analizie współczynnika różnicowania wysokości wyskoku można zaobserwować wyraźną tendencję do wykonywania wyższych wyskoków aniżeli wynika to z wzorca uzyskanego z 50% maksymalnego rezultatu w próbach na maksymalną wysokość. Tendencja ta była obserwowana zarówno w grupie badanej i kontrolnej oraz podczas wszystkich warunków dodatkowego obciążenia tj. 0 kg, 9 kg i 27 kg (ryc. 27 i 28). Jednak tylko podczas próby z obciążeniem 9 kg wśród zawodników wystąpiła istotna statystycznie zmiana wartości współczynnika różnicowania (WR) względem wartości początkowej (tab. 19).



Rycina 27. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia wysokość wyskoku (HJ) w grupie kontrolnej.



Rycina 28. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia wysokość wyskoku (HJ) w grupie siatkarzy.

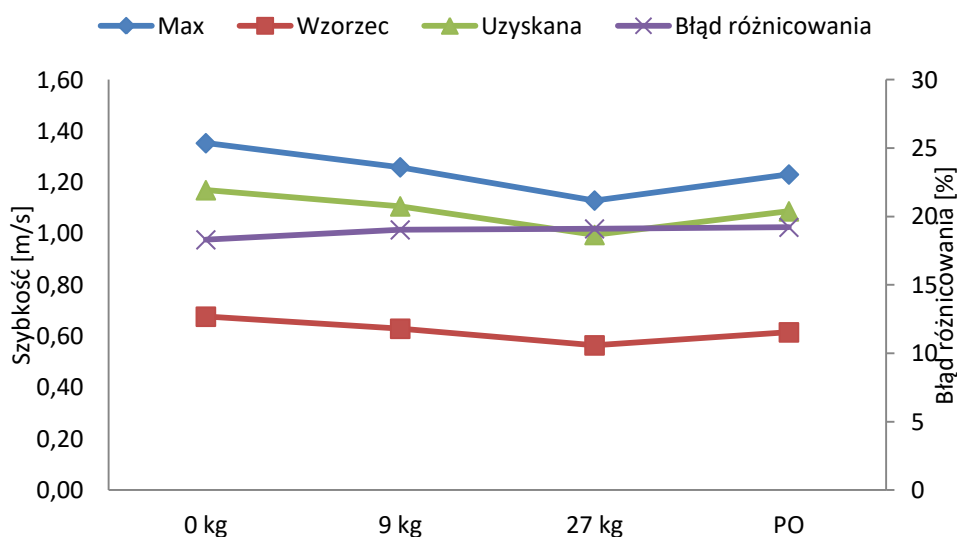
Tabela 19. Porównanie średniego błędu różnicowania (*WR*) w wysokości wyskoku (*HJ*) w grupie kontrolnej i siatkarzy

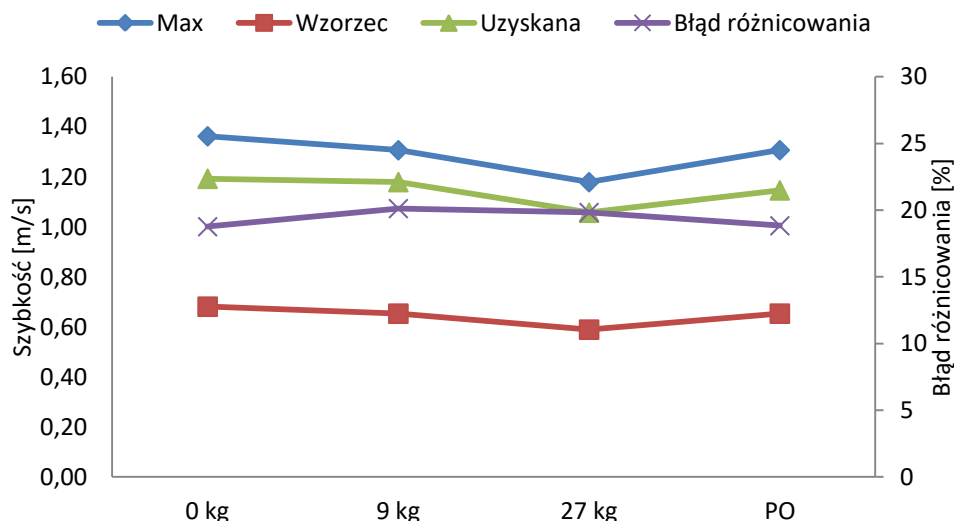
zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%
HJ_WR_0kg_przed_kontrolna	-11,87	6,55						
HJ_WR_9kg_przed_kontrolna	-13,5	4,65	1,6	3,04	1,9	0,082	-0,24	3,44
HJ_WR_27kg_przed_kontrolna	-13,4	5,64	1,48	4,99	1,1	0,305	-1,53	4,49
HJ_WR_0kg_PO_kontrolna	-13,4	4,78	1,56	3,93	1,4	0,178	-0,817	3,93

HJ_WR_0kg_przed_zawodnicy	-13,1	3,67						
HJ_WR_9kg_przed_zawodnicy	-16,8	2,44	3,65	3,25	3,9	0,003	1,59	5,72
HJ_WR_27kg_przed_zawodnicy	-15,5	3,67	2,35	3,92	2,1	0,062	-0,145	4,84
HJ_WR_0kg_PO_zawodnicy	-13,4	3,26	0,3	3,77	0,3	0,792	-2,1	2,69

Legenda: HJ_WR_0kg_przed – błąd różnicowania wysokość wyskoku przed protokołem wysiłku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg), HJ_WR_0kg_PO – średni błąd różnicowania wysokość wyskoku po protokole wysiłkowym.

Drugim analizowanym parametrem pracy mięśni w kontekście różnicowania wysokości wyskoku była średnia prędkość (*Vmean*). Wszystkie cztery warunki wykonania wyskoku charakteryzowały się wyższymi wartościami parametru niż zakładał wzorzec. Błąd różnicowania w grupie kontrolnej przedstawia (ryc. 29), podobnej obserwacji dokonano w grupie zawodników (ryc. 30). Jedynie w grupie badanej w jednym warunku obciążenia zewnętrznego (9 kg) nastąpiła istotna statystycznie zmiana (tab. 20).

Rycina 29. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia prędkość (*Vmean*) w grupie kontrolnej.



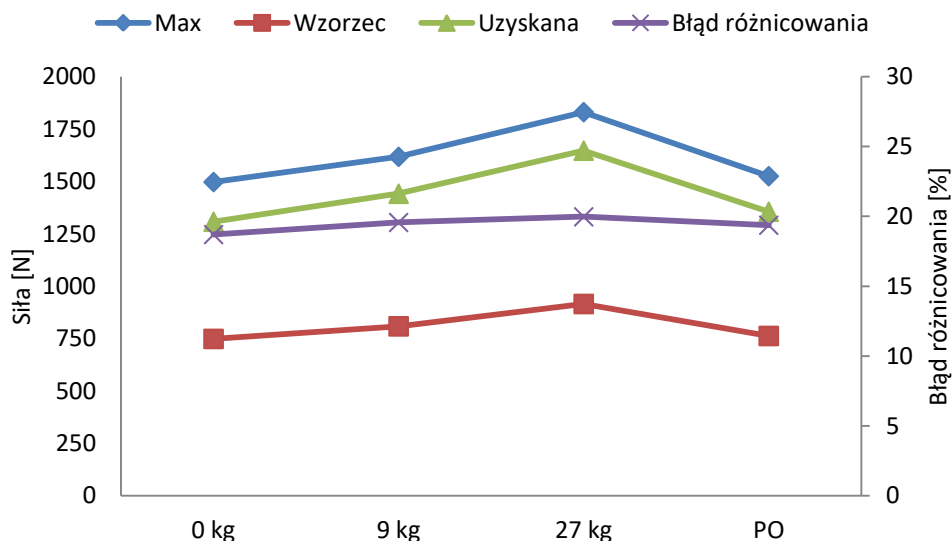
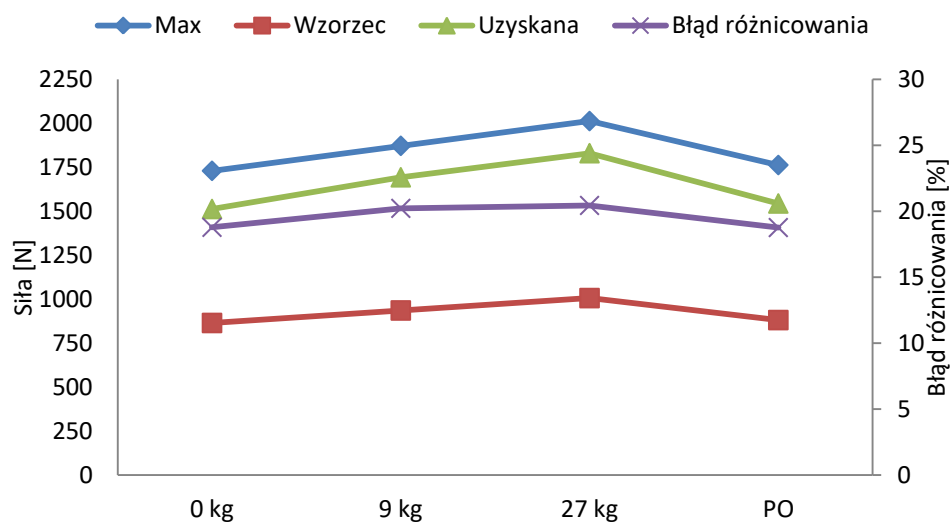
Rycina 30. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia prędkość (V_{mean}) w grupie siatkarzy.

Tabela 20. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w średniej szybkości (V_{mean}) w grupie kontrolnej badanej siatkarzy

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%
Vmean_WR_0kg_przed_kontrolna	-18,3	4,14						
Vmean_WR_9kg_przed_kontrolna	-19	3,12	0,725	2,37	1,1	0,291	-0,706	2,16
Vmean_WR_27kg_przed_kontrolna	-19,1	2,95	0,797	2,41	1,2	0,257	-0,661	2,25
Vmean_WR_0kg_PO_kontrolna	-19,2	2,76	0,912	2,44	1,4	0,203	-0,563	2,39
Vmean_WR_0kg_przed_zawodnicy	-18,8	2,03						
Vmean_WR_9kg_przed_zawodnicy	-20,1	1,39	1,36	2,09	2,3	0,046	0,029	2,68
Vmean_WR_27kg_przed_zawodnicy	-19,8	1,81	1,07	2,09	1,8	0,105	-0,263	2,4
Vmean_WR_0kg_PO_zawodnicy	-18,8	2,06	0,07	2,39	0,1	0,921	-1,45	1,59

Legenda: Vmean_WR_0kg_przed – błąd różnicowania średniej szybkości przed protokołem wysiłku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg), Vmean_WR_0kg_PO – błąd różnicowania średniej szybkości po protokole wysiłkowym.

Kolejnym parametrem zarejestrowanym podczas różnicowania wysokości wysiłku była średnia generowana siła (F_{mean}). Wyniki podobnie jak w przypadku średniej prędkości były wyższe od wzorcowych 50%, zarówno w grupie kontrolnej jak i w grupie badanej (ryc. 31 i ryc. 32). Podobnie, jak w analizie wcześniejszych parametrów, jedynie wśród zawodników nastąpiła istotna zmiana WR w dwóch warunkach pomiarowych z obciążeniem 9 kg i 27 kg (tab. 19).

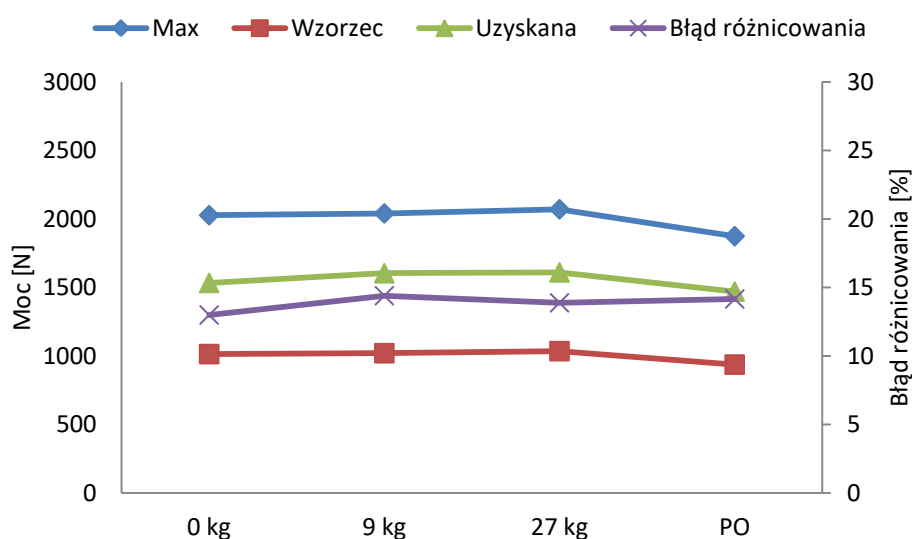
Rycina 31. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia siła (F_{mean}) w grupie kontrolnej.Rycina 32. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia siła (F_{mean}) w grupie siatkarzy.Tabela 21. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w średniej sile (F_{mean}) w grupie kontrolnej i siatkarzy

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%
Fmean_WR_0kg_przed_kontrolna	-18,7	3,69						
Fmean_WR_9kg_przed_kontrolna	-19,6	2,82	0,864	1,95	1,6	0,135	-0,311	2,04
Fmean_WR_27kg_przed_kontrolna	-20	2,32	1,27	2,31	2	0,07	-0,122	2,67
Fmean_WR_0kg_PO_kontrolna	-19,4	2,57	0,668	2,11	1,1	0,277	-0,61	1,95

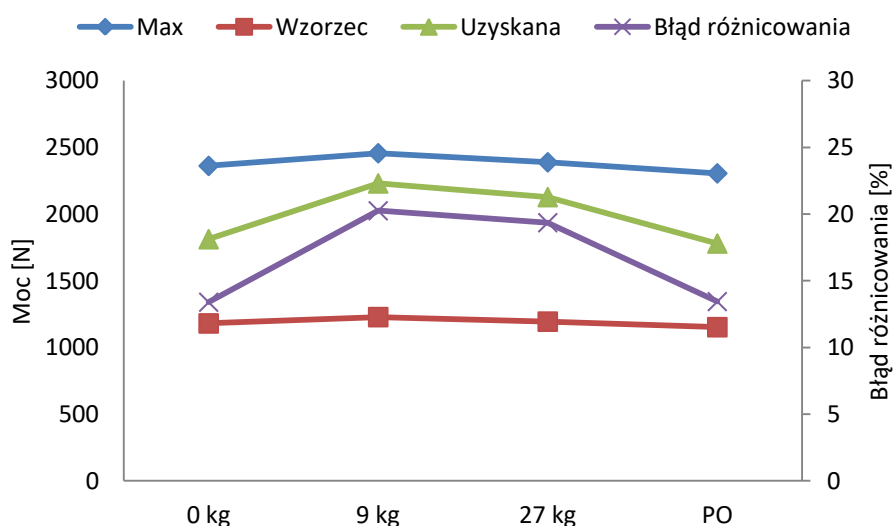
Fmean_WR_0kg_przed_zawodnicy	-18,8	2,01						
Fmean_WR_9kg_przed_zawodnicy	-20,2	1,25	1,44	1,94	2,6	0,026	0,208	2,67
Fmean_WR_27kg_przed_zawodnicy	-20,4	1,38	1,66	1,93	3	0,012	0,436	2,89
Fmean_WR_0kg_PO_zawodnicy	-18,8	1,95	-0,015	2,33	-0	0,983	-1,5	1,47

Legenda: Fmean_WR_0kg_przed – błąd różnicowania średniej siły przed protokołem wysiłku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg), Fmean_WR_0kg_PO – błąd różnicowania średniej siły po protokole wysiłkowym.

Ostatnim z analizowanych parametrów pracy mięśniowej była średnia moc (P_{mean}) uzyskana podczas różnicowania wysokości wyskoku. Podobnie jak podczas analizy wcześniejszych danych jedynie zawodnicy wykazali znaczący wzrost błędu różnicowania podczas prób z dodatkowymi 9 kg i 27 kg (tab. 22). Zarówno u zawodników jak i studentów występowała tendencja do uzyskiwania wyższych wartości aniżeli we wzorcowych 50% maksymalnej średniej mocy. W grupie studentów średni błąd różnicowania przedstawia rycina 33, natomiast wyniki zawodników zaprezentowano na rycinie 34.



Rycina 33. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia moc (P_{mean}) w grupie kontrolnej.



Rycina 34. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia moc (P_{mean}) w grupie zawodników.

Tabela 22. Porównanie średniego błędu różnicowania (*WR*) w średniej mocy (*Pmean*) w grupie kontrolnej i siatkarzy

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%
Pmean_WR_0kg_przed_kontrolna	-13	6,68						
Pmean_WR_9kg_przed_kontrolna	-14,4	5,17	1,41	3,73	1,4	0,198	-0,85	3,67
Pmean_WR_27kg_przed_kontrolna	-13,9	6,05	0,891	5,8	0,6	0,59	-2,61	4,4
Pmean_WR_0kg_PO_kontrolna	-14,2	4,51	1,17	4,06	1	0,319	-1,28	3,63
Pmean_WR_0kg_przed_zawodnicy	-13,4	3,56						
Pmean_WR_9kg_przed_zawodnicy	-20,3	3,7	6,86	5,43	4,4	< 0,01	3,4	10,3
Pmean_WR_27kg_przed_zawodnicy	-19,4	4,12	5,96	4,97	4,2	< 0,01	2,81	9,12
Pmean_WR_0kg_PO_zawodnicy	-13,4	3,51	0,047	4,07	0	0,97	-2,54	2,63

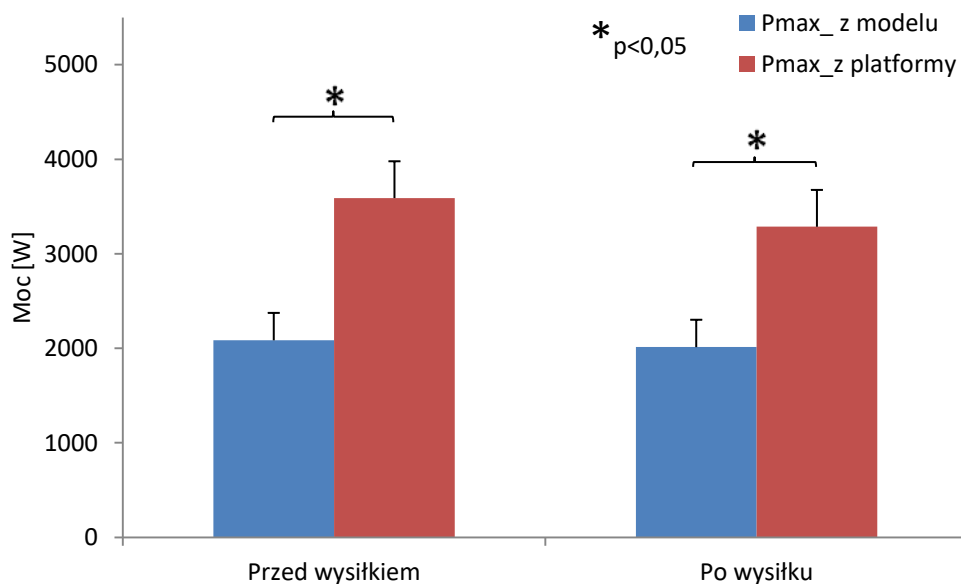
Legenda: Pmean_WR_0kg_przed – błąd różnicowania średniej mocy przed protokołem wysiłku z dodatkowym obciążeniem (0 kg, 9 kg, 27 kg), Pmean_WR_0kg_PO – błąd różnicowania średniej mocy po protokole wysiłkowym.

Wszystkie analizowane parametry wykazały wyższe rejestrowane wartości podczas wyskoków submaksymalnych niż wyznaczone wzorce 50% wartości maksymalnej. Należy zwrócić również uwagę na brak różnic w profilach F-V, bez względu na rodzaj wykonywanego zadania (maksymalne / submaksymalne) w każdym z warunków.

4.4. Porównanie dwóch metod oceny mocy maksymalnej.

W celu weryfikacji piątej hipotezy, która zakładała nie wykazanie istotnych statystycznie różnic pomiędzy wartościami mocy maksymalnej (*Pmax*), co świadczyło by o możliwości zastosowania zamiennie obu metod do określenia tego parametru pracy mięśni. Wykorzystano test t Studenta dla prób zależnych, aby sprawdzić istotność statystyczną zmiany dwóch wartości mocy maksymalnej (*Pmax*) uzyskanej podczas wyskoku pionowego. Pierwsza wartość została wyliczona z danych zarejestrowanych na platformie dynamograficznej, druga wartość *Pmax* została wyliczona z danych odczytanych z profilu szybkościowo-siłowego zawodników.

W grupie kontrolnej porównanie wartości mocy maksymalnej (*Pmax*) wyliczonej z modelu i wyliczonej bezpośrednio z danych platformy była istotna statystycznie zarówno przed wykonaniem protokołu wysiłku jak i po jego zakończeniu (ryc. 35, tab. 23).



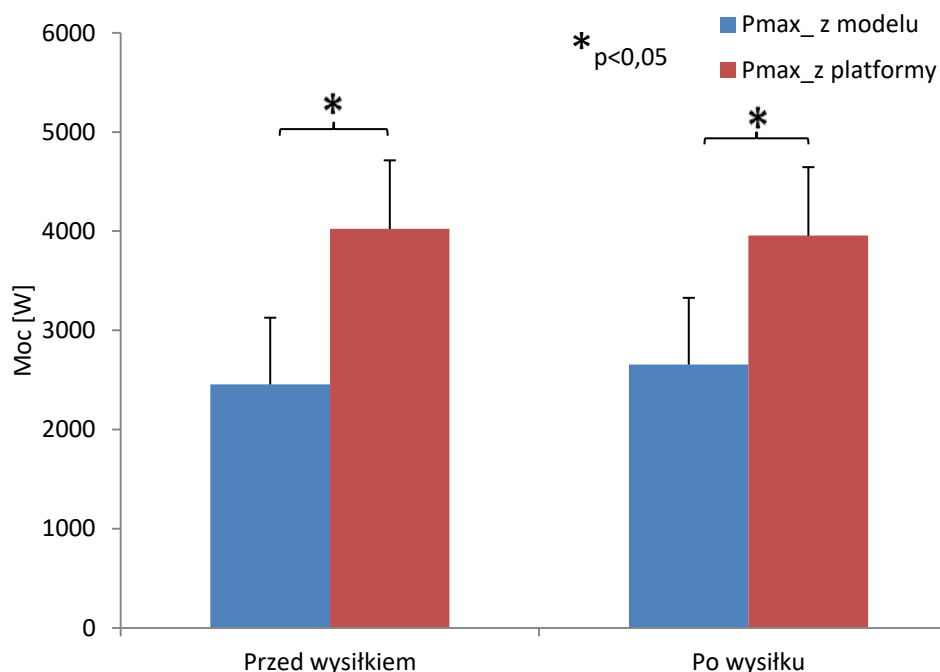
Rycina 35. Wartości mocy maksymalnej w grupie kontrolnej odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamograficzna podczas wyskoków na maksymalną wysokość.

Tabela 23. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie kontrolnej odczytanego z modelu regresji i z platformy podczas wyskoków na maksymalną wysokość

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%	d
Pmax_MAX_plat._przed_Kontrolna	3590	396							
Pmax_MAX_profil_przed_Kontrolna	2085	305	1504	209	26	<0,001	1377	1631	4,4
Pmax_MAX_plat._PO_Kontrolna	3287	385							
Pmax_MAX_profil_PO_Kontrolna	2013	279	1273	272	17	<0,001	1109	1438	4

Legenda: Pmax_MAX_plat._przed – moc maksymalna podczas wyskoku maksymalnego wyliczona z danych z platformy dynamograficznej przed protokołem wysiłkowym, Pmax_MAX_profil_PO - moc maksymalna podczas wyskoku maksymalnego wyliczona danych z profilu F-V po protokole wysiłkowym.

Ponownie odnotowano znacznie niższe wartości P_{max} danych uzyskanych z modelu regresji w porównaniu z wartościami rejestrowanymi na platformie dynamograficznej. Różnica w parametrach była istotna statystycznie zarówno przed protokołem wysiłku jak również po jego wykonaniu (ryc. 36, tab. 24).



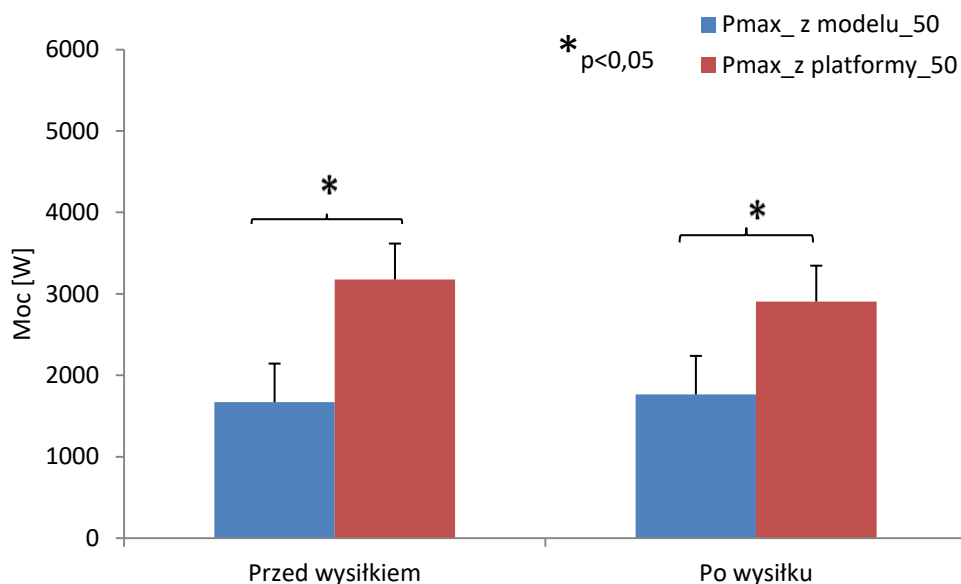
Rycina 36. Wartości mocy maksymalnej w grupie zawodników odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamograficzna podczas wyskoków na maksymalną wysokość).

Tabela 24. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie zawodników odczytanego z modelu regresji i z platformy podczas wyskoków na maksymalną wysokość

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%	d
Pmax_MAX_plat_zawodnicy	4023	670							
Pmax_MAX_profil_zawodnicy	2456	525	1567	211	25,7	<0,001	1432	1701	2,7
Pmax_MAX_plat_PO_zawodnicy	3954	714							
Pmax_MAX_profil_PO_zawodnicy	2656	820	1298	638	7,05	<0,001	893	1704	1,8

Legenda: Pmax_MAX_plat._przed – moc maksymalna podczas wyskoku maksymalnego wyliczona z danych z platformy dynamograficznej przed protokołem wysiłkowym, Pmax_MAX_profil_PO - moc maksymalna podczas wyskoku maksymalnego wyliczona danych z profilu F-V po protokole wysiłkowym.

Analiza danych porównująca wartości P_{max} wyliczonych z modelu regresji i danych z narzędzia pomiarowego podczas prób o obniżonym wysiłku (50%), wykazała istotnie statystycznie niższe wartości P_{max} odczytane z profilu względem platformy pomiarowej (ryc. 37, tab. 25).



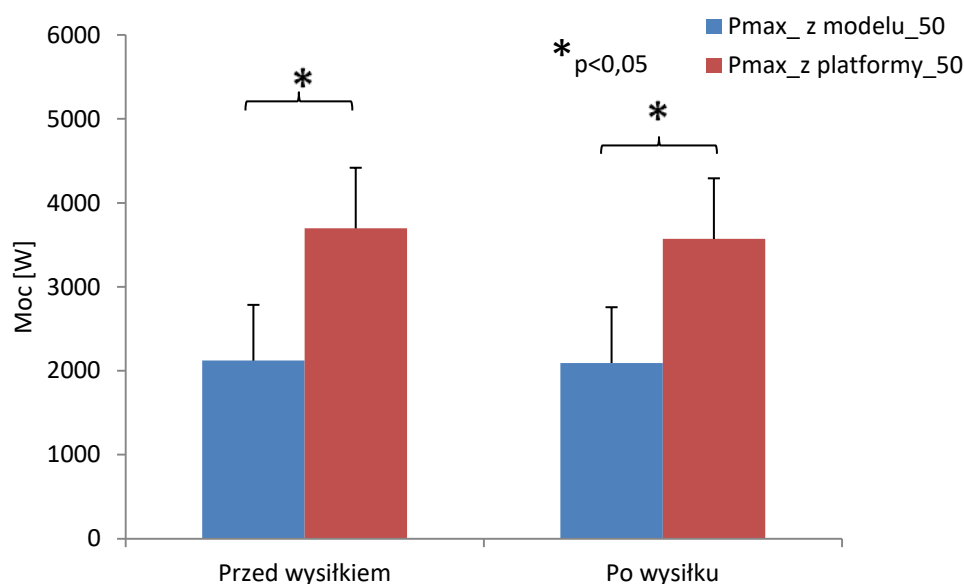
Rycina 37. Wartości mocy maksymalnej w grupie kontrolnej odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamograficzna podczas wyskoku na połowę maksymalnych możliwości.

Tabela 25. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie kontrolnej dla prób na połowę możliwości odczytanego z modelu regresji i z platformy

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%	d
Pmax_50_platforma_kontrolna	3178	450							
Pmax_50_profil_kontrolna	1671	318	1506	282	19	<0,001	1335	1677	2,9
Pmax_50_platforma_PO_kontrolna	2906	433							
Pmax_50_profil_PO_kontrolna	1766	630	1140	405	10	<0,001	895	1385	2,2

Legenda: Pmax_50_plat_przed – moc maksymalna podczas wyskoku 50% możliwości wyliczona z danych z platformy dynamo graficznej przed protokołem wysiłkowym, Pmax_50_profil_PO - moc maksymalna podczas wyskoku na 50% możliwości wyliczona danych z profilu F-V po protokole wysiłkowym.

W grupie badanej, podobnie jak w grupie kontrolnej nastąpiła istotna statystycznie różnica pomiędzy wartością mocy maksymalnej (P_{max}) wyliczonej z danych z platformy badawczej, a wartością wyliczoną z profilu regresji w próbie zakładającej obniżony rezultat wyskoku. W warunku przed protokołem wysiłkowym wielkość zmian zgodnie z klasyfikacją Cohena była „duża” oraz istotna statystycznie. Podobnie, po wysiłku wartości mocy maksymalnej (P_{max}) obliczane przy wykorzystaniu danych z platformy i profilu różniły się w sposób istotny (tab. 26)



Rycina 38. Wartości mocy maksymalnej w grupie zawodników odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamograficzna podczas wyskoku na połowę maksymalnych możliwości.

Tabela 26. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie zawodników w próbie na połowie możliwości odczytanego z modelu regresji i z platformy

zmienna	Średnia	Odch.std	Różnica	Odch.st.r	t	P	PU-95%	PU 95%	d
Pmax_50_platforma_zawodnicy	3697	686							
Pmax_50_profil_zawodnicy	2121	557	1575	410	13	<0,001	1314	1836	2,6
Pmax_50_platforma_PO_zawodnicy	3571	759							
Pmax_50_profil_PO_zawodnicy	2093	772	1477	514	9,9	<0,001	1150	1804	2

Legenda: Pmax_50_plat_przed – moc maksymalna podczas wyskoku 50% możliwości wyliczona z danych z platformy dynamograficznej przed protokołem wysiłkowym, Pmax_50_profil_PO – moc maksymalna podczas wyskoku na 50% możliwości wyliczona z danych z profilu F-V po protokole wysiłkowym.

Wszystkie analizowane pary warunków wykazały istotną statystycznie różnicę w uzyskanych wynikach. W każdym z warunków wystąpiło duże niedoszacowanie parametrów mocy maksymalnej (P_{max}) odczytanej z profilu siłowo-szybkościowego ($F-V$) względem danych uzyskanych z platformy dynamograficznej.

5. Dyskusja

Skok może przyjmować zróżnicowane formy, obejmujące zarówno prosty wyskok w górę czy w dal, jak również bardziej skomplikowane czynności ruchowe z obrotami wokół osi poprzecznej lub długiej występujące w skokach do wody czy gimnastyce. Wynik sportowy zawodnika lub całego zespołu jest niejednokrotnie warunkowany wykonaniem jednego lub serii prawidłowych skoków. W przypadku wyskoku pionowego, wykonywanego wiele razy podczas walki sportowej kluczowa jest jego wysokość, a ta z kolei warunkowana jest przez dobrą technikę ruchu oraz optymalnie wykorzystane zdolnościami kondycyjne i koordynacyjne. Dla optymalizacji działań zawodników i ułatwienia pracy trenerom ważne jest określenie pożądanego dla danej dyscypliny sportu profilu siłowo-szybkościowego, poznanie zależności jego zmian w ciągu rozwoju ontogenetycznego, pod wpływem zmęczenia walką sportową lub wykonaniem wysiłku submaksymalnego. W wielu dyscyplinach sportowych eksperci, obok zdolności kondycyjnych, wyróżniają zdolność kinestetycznego różnicowania ruchów jako wiodącą wśród zdolności koordynacyjnych, mającą duży wpływ na sukces sportowy. U jej podłoża leży generowanie odpowiedniego pobudzenia mięśni do produkcji siły i szybkości, dostosowanego do zaistniałych warunków walki sportowej. Niezaprzeczalnie jest ona związana ze zdolnościami siłowo-szybkościowymi. Dlatego też celem tej pracy było określenie wpływu wysiłku fizycznego i wysiłku submaksymalnego wyskoku na zmianę profilu siłowo-szybkościowego oraz wartości parametrów pracy mięśni.

Wpływ wysiłku fizycznego na zmianę profilu siłowo-szybkościowego oraz parametrów pracy mięśni w wyskoku pionowym.

Postawiona w pracy hipoteza badawcza zakładająca istotne różnice w profilu siłowo-szybkościowym (parametr *Slope*) pomiędzy grupą siatkarzy, a grupą kontrolną nie została potwierdzona w związku z brakiem różnic w profilach siłowo-szybkościowych w badanych grupach (tabele 3-6). Należy jednak zwrócić uwagę, że pomimo braku różnic w profilach, zarówno w wyskokach maksymalnych przed wysiłkiem i po wysiłku izometrycznym, wskazują one na wyższe możliwości siłowo-szybkościowe wśród zawodników regularnie trenujących siatkówkę ($F_0 = 3749,4 \text{ N}$ i $3068,5 \text{ N}$) oraz ($V_0 = 2,54 \text{ m/s}$ i $3,02 \text{ m/s}$). Znajduje to potwierdzenie w większości prac oceniających siłę kończyn dolnych u osób na różnym poziomie sprawności fizycznej (Cormie, McGuigan, i Newton 2010; Cuk i wsp. 2014; Nuzzo i wsp. 2010; Pazin i wsp. 2013; Petridis i wsp. 2021). Fakt uzyskania

wyższych wartości siły w grupie zawodników związany jest prawdopodobnie z reżimem treningowym na hali i siłowni, któremu poddawani są nastoletni sportowcy, co przyczynia się do intensyfikacji rozwoju zdolności motorycznych (Kaneko i wsp., 1983). W przeciwieństwie do nich grupa kontrolna pomimo znajdowania się w okresie szczytowego rozwoju siły maksymalnej, który przypada u mężczyzn między 21 - 22 rokiem życia (Faigenbaum 2014), nie była w stanie osiągnąć podobnych wartości (F_0). Nie tylko analiza parametrów pracy mięśniowej wskazuje na przewagę grupy siatkarskiej ale również analiza efektu wyskoku, czyli jego wysokość wskazuje na przewagę w wysokości wyskoku grupy zawodników uczestniczącej regularnie w treningach pomimo, że grupa kontrolna znajdowała się także w szczytowym okresie rozwoju zdolności skocznościowych, który przypada u mężczyzn w wieku 19-20 lat (Sozański 1993). Uzyskane wartości F_0 oraz V_0 w grupie studentów, których poziom aktywności fizycznej można określić jako umiarkowany, znajdują odzwierciedlenie w wartościach prezentowanych w wielu pracach (Cuk i wsp. 2014; Jaric 2015; Jiménez-Reyes i wsp. 2018; Nuzzo i wsp. 2010; Samozinowsp. 2014; Yamauchi i wsp. 2007).

Jedną z przyczyn braku oczekiwanej różnicy w uzyskanych średnich profilach F-V obu badanych grup może być różnica czasowa rozwoju ontogenetycznego, gdzie grupa zawodników (przed wiekiem szczytu możliwości siłowych i skocznościowych) uzyskuje wyższe wartości siły (F), prędkości (V) i mocy (P). Można spekulować, że kontynuacja regularnego treningu siatkarskiego oraz zajęć na siłowni połączonego z naturalnym rozwojem ontogenetycznym, może w przyszłości wpłynąć na rozwój siły i w konsekwencji zmianę nachylenia profilu regresji w kierunku zdolności siłowych, na co zwrócili uwagę Cuk i współautorzy (2014). Badacze stwierdzili, że różnica w uzyskiwanej mocy pomiędzy grupą zawodowych sportowców, a osób aktywnych fizycznie wynika głównie z różnicy w F_0 . Także Yamauchi i współautorzy (2009, 2010) przedstawili różnicę w F_0 jako główny powód zmiany P_{max} , przy zachowaniu podobnych wartości V_0 pomiędzy osobami w wieku 30-40 lat, a osobami starszymi oraz wyższe wartości F_0 w grupie 30-40 latków względem grupy 18-30 lat przy podobnych wartościach V_0 .

W opozycji do przedstawionej argumentacji przedstawia się model Samozino i współautorów (2012), który zakłada mniejsze nachylenie profilu regresji, a co za tym idzie wyższe wartości V_0 niż F_0 dla zmaksymalizowania rezultatu wyskoku pionowego, który jest głównym celem rozwoju motorycznego siatkarza.

W niniejszej pracy zaobserwowano zmiany profilu F-V na skutek zadanego wysiłku fizycznego tj. zmniejszenie się nachylenia profilu regresji w konsekwencji obniżenia przewidywanej wartości F_0 w grupie siatkarzy o 18%, a w grupie studentów o 26%. Można

przypuszczać, że mniejsza różnica w spadku wartości F_0 zdaje się być następstwem rozwoju wytrzymałości ukierunkowanej (w tym wypadku siłowej) w grupie siatkarzy przez proces treningowy. Powodem może być także rodzaj zastosowanego protokołu wysiłkowego. Zadany wysiłek zakładał wykonanie interwałowego (15-sekundowego) skurczu izometrycznego, który jest zadaniem statycznym, a zgodnie z doniesieniami Garcia-Ramosa (2018), którzy badali wpływ dwóch różnych protokołów zmęczenia na zdolności siłowo-szybkościowe oraz profil F-V górnych partii ciała, wynika że rodzaj wysiłku fizycznego ma bezpośredni wpływ na zmianę kierunku zmian powysiłkowych lub adaptacyjnych. Autorzy założyli wykonanie czterech serii wyciśnień sztangi leżąc z różnymi obciążeniami zewnętrznymi. Zaobserwowana przez nich redukcja P_0 , w przypadku obu protokołów wysiłkowych po ich wykonaniu, była spowodowana spadkiem różnych komponentów mocy. Zmęczenie zaobserwowane po wykonywaniu protokołu z dużą liczbą powtórzeń przy obciążeniu 60% 1RM i maksymalną prędkością ruchu spowodowało głównie redukcję V_0 , a w konsekwencji obniżenie P_0 . Drugi protokół wysiłkowy zastosowany w pracy Garcia-Ramosa (2018) zakładający wykorzystanie obciążenia o wartości 80% 1RM i wolnego tempa wykonywania powtórzeń spowodował redukcję P_0 wynikającą z obniżenia wartości F_0 . Obserwacja ta pozwala sądzić, że przyczyna spadku generowanej mocy (redukcja składowych mocy F i V) podczas wysiłku fizycznego uzależniona jest od charakterystyki wykonywanej pracy. Wyniki przytoczonej pracy implikują również, że wykorzystanie profilu F-V może być stosowane do monitorowania zmian parametrów pracy mięśniowej na skutek zmęczenia, do czego potrzebne są dalsze badania zakładające analizę parametrów pracy mięśniowej. Analiza danych zebranych w prezentowanej pracy wskazuje na istotną zmianę parametrów szybkościowych pracy mięśniowej (V_{mean}) po wykonanym wysiłku fizycznym przy nieistotnej statystycznie zmianie w parametrach siłowych zarówno w grupie siatkarzy jak i grupie w kontrolnej.

Wpływ celowego obniżenia wysokości wyskoku pionowego na zmianę profilu oraz parametrów pracy mięśni.

Wyskok pionowy z zamachem (*CMJ*) jest skomplikowanym ruchem gdzie zaangażowane mięśnie wykonują pracę ekscentryczno-koncentryczną w celu przygotowania optymalnych warunków do osiągnięcia założonego rezultatu. Łączny czas trwania fazy przygotowawczej i właściwej trwa niespełna 0,5 sek. w związku z czym CMJ klasyfikowany jest jako ruch balistyczny (Struzik i Zawadzki 2013). Fakt ten jest istotny dla lepszego zrozumienia roli kinestetycznego różnicowania, a raczej mechanizmów różnicowania siły i prędkości wykonania skoku. Obecny stan wiedzy przedstawia ruchy balistyczne jako

zadania niezmiernie trudne do kontrolowania z uwagi na brak możliwości skorygowania ruchu po jego rozpoczęciu. Wykonanie zadania w celu osiągnięcia maksymalnego rezultatu, gdzie centralny układ nerwowy generuje unikatowy zestaw sygnałów sterujących zapewniających maksymalizację rezultatu wydaje się nieskomplikowane, inaczej natomiast przedstawia się zadanie submaksymalne (zakładające uzyskanie konkretnego rezultatu czynności ruchowej), do wykonania którego można zastosować wiele wzorców i różne sygnały kontrolne (Dounskaia 2011; Vanreterghem i wsp. 2004; Van Zandwijk i wsp. 2000). Wzorzec CMJ zakładający uzyskanie maksymalnej wysokości różni się od wysiłku submaksymalnego, charakteryzuje się większym zakresem ruchu w stawach kończyn dolnych w celu uzyskania większej energii kinetycznej w fazie zamachu (Bobbert i Schenau 1988).

Analiza nachylenia profili siłowo-szybkościowych podczas wyskoków submaksymalnych zarówno w grupie zawodników jak również w grupie kontrolnej nie wykazała istotnych statystycznie zmian nachylenia. Niemniej jednak w obu grupach przed protokołem wysiłkowym zaobserwować można pewien trend przesuwania się profilu w kierunku zdolności siłowych. Opisywana zmiana występuje również w grupie sportowców po przeprowadzonym wysiłku izometrycznym, a spowodowana jest głównie przez spowolnienie wykonywanego wyskoku podczas prób na obniżoną wysokość, co może być skutkiem ograniczenia zamachu ramion oraz zmniejszenia głębokości przysiadu podczas wykonywania CMJ w celu uniknięcia niepotrzebnych strat energii o czym w pracach wspominali m.in. Hara i współautorzy (2008) oraz Vanreterghem i współautorzy (2004). Podczas analizy wyników uzyskanych przez siatkarzy w obu zaaplikowanych warunkach oraz przed protokołem wysiłku fizycznego w grupie kontrolnej podczas wyskoku pionowego widoczne jest nieznaczne zwiększenie się profilowej siły (F_0), które przypisywane jest reorganizacji ruchu wynikającej ze zmiany aktywności poszczególnych mięśni i stawów biorących udział w wyskoku pionowym (Dounskaia 2011; Vanreterghem i wsp. 2004).

Vanreterghem i współautorzy (2004) zwrócili dodatkowo uwagę na reorganizację wzorca wyskoku pionowego i zwiększoną rolę stawu skokowego podczas submaksymalnych wyskoków. Maksymalizacja pracy stawu skokowego rejestrowana jest już podczas wyskoków na 50% maksymalnych możliwości, analizując proporcjonalny udział poszczególnych stawów w wytwarzaniu siły podczas wyskoku pionowego. Dla wyskoków na 25% możliwości aż 78% siły pochodziło ze stawu skokowego, gdzie przy wyskokach na maksymalną wysokość udział stawu skokowego to jedynie 23% przy dominacji stawu kolanowego i biodrowego.

Podczas analizy wyskoków pionowych w grupie kontrolnej po przeprowadzonym protokole izometrycznego wysiłku należy zwrócić uwagę na zmniejszenie wartości

F_0 i utrzymaniu V_0 na poziomie wyskoku maksymalnego. Wpływ na taki stan rzeczy może mieć bezpośrednio zaaplikowany wysiłek, który zakłada nagromadzenie się produktów ubocznych przemiany materii oraz mikro uszkodzeń włókien mięśniowych w obrębie wybranej grupy mięśniowej. Prowadzić to może do obniżenia możliwości generowania siły lub zaburzeń przepływu informacji pochodzącej z receptorów peryferyjnych zlokalizowanych w mięśniach. Efekt taki może uwidaczniać się szczególnie w grupie studentów, którzy nie są zaadaptowani do utrzymania wartości F_0 na optymalnym poziomie, co jest z kolei możliwe w grupie siatkarzy na podstawie regularnego treningu.

Rozpatrywanie procesu różnicowania wysiłku fizycznego odnosząc się jedynie do analizy zmiany profilu siłowo-szybkościowego podczas submaksymalnych wyskoków pionowych wydaje się być niewystarczające. Takie podejście nie daje możliwości interpretacji jakości wykonania założonego wysiłku, w tym przypadku jakości różnicowania wysokości wyskoku. W tym celu konieczna jest analiza błędu procentowego, a nie wartości bezwzględnych. Odnosząc się do wartości bezwzględnych, mamy na do czynienia z analizą wartości maksymalnych, a do oceny sprawności systemu sterującego zalecana jest analiza wartości błędu procentowego (Waśkiewicz 2002) i w tym kierunku przeanalizowano uzyskany współczynnik różnicowania w świetle współczesnej literatury.

Obie badane grupy siatkarze i kontrolna wykazały tendencje do wykonywania wyższych wyskoków aniżeli zakładał to wzorzec względem aktualnych możliwości ($WR_{stud}=11,87$, $WR_{zaw}=13,1$) co jest zbieżne z aktualnymi badaniami (Słomka 2015; Słomka i wsp. 2018; Struzik i wsp. 2017), jednocześnie autorzy zwrócili uwagę na spadek dokładności różnicowania wysokości wyskoku wraz ze zmniejszeniem procentowego celu do osiągnięcia. Struzik (2017) donosi, że procentowy błąd różnicowania dla 25% maksymalnej wysokości wynosił wśród koszykarzy 70%-106%, siatkarzy 93%-126% i szczypiornistów 80%-117%. W przypadku wysokości 50% maksymalnych możliwości wartości te zmniejszały się i WR wynosił wśród koszykarzy 32%-41%, siatkarzy 30%-45% oraz szczypiornistów 32%-47%. Natomiast dla wysokości 75% maksymalnej wysokości WR wynosił u koszykarzy od 10%-15%, siatkarzy od 7%-13% i szczypiornistów 9%-13%.

Wyższy błąd różnicowania odnotowany wśród sportowców podczas wyskoku pionowego jest zastanawiający względem doniesień Bańkosza i współautorów (2015; 2014), którzy badali odtworzenie dokładności wytworzonej siły nacisku dłoni oraz zakresu supinacji oraz pronacji w grupie zawodowych tenisistek stołowych. Wykazali oni wyższy poziom przejawów zdolności różnicowania kinestetycznego skorelowany z wyższym poziomem zaawansowania i dłuższym stażem treningowym w kończynie dominującej, która poddawana

jest ciągłym bodźcem treningowym. Podobnej obserwacji dokonali Han i współautorzy (2015), których badania wykazały związek poziomu propriocepcji stawu skokowego z poziomem zaawansowania piłkarzy nożnych. Także Sevrez i Bourdin (2015) przypisywali poziomowi propriocepcji stawu nadgarstkowego kluczową rolę podczas kompensacji wzorca rzutu osobistego wśród koszykarzy. Podobnie w badaniach Struzika i współautorów (2017) ujawniła się większa dokładność odniesienia się do docelowej wysokości wyskoku w grupie, która częściej wykorzystywała badany wzorzec ruchu w treningu sportowym lub walce meczowej, mowa tu o przewadze różnicowania wysokości wyskoku w grupie młodych koszykarzy względem grupy młodych szczypiornistów.

W wyjaśnieniu większego procentowego błędu różnicowania wysokości wyskoku wśród zawodników, który jest popularnym wzorcem ruchowym dla siatkarzy w przeciwieństwie do grupy kontrolnej, pomoc może praca Lloyda i współautorów (2012), którzy zasugerowali, że wraz z wiekiem badanego wzrasta procentowy udział informacji pochodzącej ze sprzężenia zwrotnego w kontakcie człowieka ze środowiskiem zewnętrznym.

Analiza zdolności różnicowania kinestetycznego po zadanym wysiłku fizycznym ma szczególne uzasadnienie wynikające ze złożoności systemu sterowania, gdzie informacje wykorzystywane do wytwarzania sygnału zależą w podobnym stopniu od przetwarzania ośrodkowego jak i od informacji proprioceptywnych (Waśkiewicz 2002). Analizowane prace zajmujące się wpływem wysiłku fizycznego o różnym charakterze na przejawy kinestetycznego różnicowania, ukazują podobne tendencje do zawyżania (nadproduktywności) wysokości wyskoku. W tym kontekście Chmura i współautorzy (2010) wskazują, że jedynie wysiłek fizyczny o bardzo dużej intensywności wpływa na obniżenie zdolności psychomotorycznych u sportowców. Badania prowadzone przez tych autorów wskazują na poprawę sprawności psychomotorycznej obejmującej szybkość i trafność reakcji, percepcję na bodźce słuchowe i wzrokowe, koncentrację uwagi oraz zdolności techniczne w danej grze zespołowej w skutek wysiłku fizycznego do momentu osiągnięcia tzw. „progu zmęczenia psychomotorycznego” znajdujący się około 20% ponad progiem przemian beztlenowych, po przekroczeniu którego następuje gwałtowne pogorszenie zdolności motorycznych.

Badania Słomki (2015) prowadzone na grupie studentów obu płci poddanych wysiłkowi o charakterze dynamicznym (*wyskoki dosiężne*), wysiłkowi wibracyjnemu oraz wysiłkowi wytrzymałościowemu (*tlenowemu*) powyżej progu przemian beztlenowych nie wykazały istotnego wpływu tych interwencji na przejawy zdolności różnicowania kinestetycznego. Autor badań wskazuje na pogorszenie się jedynie możliwości

maksymalnego wyskoku oraz wydłużenie czasu kontaktu z podłożem, co było spodziewanym efektem oddziaływania wysiłku na organizm. Autor zaobserwowany stan badań przypisuje „precyzyjnej kontroli wybranych zdolności i dostosowania do zaistniałej sytuacji wysiłkowej na bazie informacji zwrotnej o aktualnym stanie organizmu”.

Wpływ powtarzanego wysiłku o charakterze anaerobowym na kinestezję był z kolei tematem badań Waśkiewicza (2002). Uczestnicy tych badań wielokrotnie wykonywali test Wingate na cykloergometrze w celu uzyskania odpowiedniego poziomu zmęczenia. Analiza zebranych danych przeprowadzona przez autora nie wykazała istotnej różnicy wartości współczynnika różnicowania dla wysokości wyskoku i popędu siły. Autor zaobserwował obniżenie wysokości wyskoku wraz z kolejnymi powtórzeniami testu Wingate, co było oczywistym efektem zaaplikowanego wysiłku ze względu na obniżenie się ilości niezbędnych substratów energetycznych.

Podczas analizy wyników własnych, w próbach z dodatkowym obciążeniem (9 kg i 27 kg) zaobserwowano istotne statystycznie zmiany współczynnika różnicowania (*WR*) podczas prób z dodatkowymi 9 kg w grupie zawodników. Zjawisko to nie wystąpiło podczas kolejnych prób z obciążeniem 27 kg. Niestety w świetle posiadanych danych trudno jednoznacznie wyjaśnić przyczyny zaobserwowanego zjawiska, z jednej strony można wskazywać na błąd metodologiczny niezakładający losowości doboru obciążenia w kolejnych próbach. Z drugiej strony istnieje możliwość zaistnienia mechanizmu adaptacji organizmu do dodatkowych obciążeń w kolejnych próbach (wyskok z 9 kg był pierwszym obciążeniem dodatkowym). Wynik ten może stać się punktem wyjścia do dalszych rozważań nad wpływem dodatkowego obciążenia na zdolność różnicowania kinestetycznego.

Profil siłowo-szybkościowy jako metoda określania mocy maksymalnej wśród badanych.

Moc generowana przez zawodników podczas walki sportowej uważana jest za podstawowy element jej końcowego sukcesu (Kraemer i wsp. 2001; Mascaro i wsp. 1992), analiza jej zmian jest popularna podczas monitorowania skuteczności treningów (Kraemer i wsp. 2003). Badania Jarica (2015) sugerujące możliwość zastosowania liniowej zależności siły w stosunku do szybkości w obliczeniach mocy maksymalnej „*P_{max}*” nie znalazły potwierdzenia w prezentowanej pracy. Wielu autorów przedstawia pomiary na platformie dynamograficznej jako „złoty standard” i sugeruje porównywanie nowych sposobów rejestracji danych właśnie do pomiarów z platformy (Cuk i wsp. 2014; Glatthorn i wsp. 2011; Peterson Silveira i wsp. 2017; Słomka i wsp. 2017). W prezentowanych

badaniach wszystkie porównywane próby wykazały istotność statystyczną względem „złotego standardu” co w obliczu doniesień, dyskwalifikuje używanie w zaprezentowanej formie metody do oceny rzeczywistej P_{max} . Wszystkie wyliczenia wykonane przy użyciu F_0 i V_0 odczytanych z profilu FV do uzyskania wartości P_{max} były nie doszacowane względem wartości odczytywanych z platformy, powodem takiego stanu może być zastosowanie w tworzeniu profilu siłowo-szybkościowego wartości średnich (F_{mean} i V_{mean}). Jak sugerują badania Cuk i współautorów (2014) wartość F_0 pozostaje podobna niezależnie od zastosowanych danych (średnie lub maksymalne wartości) w odróżnieniu do V_0 i P_{max} , które podczas użycia uśrednionych danych są niższe.

Feeney i współautorzy (2016) w podobnych badaniach z wykorzystaniem średnich wartości V_{mean} i F_{mean} , porównujących parametry pracy mięśniowej F_0 i V_0 uzyskane z profilu FV do parametrów bezpośrednio rejestrowanych, uzyskali wyniki umiarkowanie skorelowane jeżeli chodzi o V_0 i P_{max} oraz niską korelację F_0 .

Uzasadnione będą kolejne prace mające na celu porównanie metod zakładających obliczenie P_{max} uzyskanych z profilu FV wyznaczonego z maksymalnych wartości siły i prędkości (F_{max} i V_{max}) w różnych zadaniach motorycznych.

Obecnie wśród szybkich, tanich i ogólnodostępnych metod wyznaczania maksymalnej mocy (P_{max}) popularne jest wykorzystanie równań matematycznych (Lara-Sanchez i wsp. 2011), ich dobór należy dopasować do charakterystyki testowanej grupy: równanie Lara- Sanchez i współautorzy (2006) rekomendowane jest do badań aktywnych fizycznie mężczyzn. Z kolei równanie Canavana i Vescovi (2004) polecane jest przy badaniach kobiet hobbystycznie uprawiających sport. Natomiast do testowania uczniów szkół średnich znajdują zastosowanie wzory opisane w artykule Lara-Sanchez i współautorów (2011). Porównanie wyników uzyskanych z równań ze wzorcowymi parametrami uzyskanymi z platformy dynamograficznej wykazują różnice pomiędzy nimi około 2% (przy doborze najtrafniejszego wzoru dopasowanego do badanej grupy) (Lara-Sanchez i wsp. 2011)

Obecny rozwój technologii oraz zapotrzebowanie zawodowych sportowców pozwala na wykorzystanie wielu przenośnych systemów rejestrujących wysokość wyskoku i parametrów mechanicznych pracy mięśni. Warto wspomnieć uwagę na zwalidowane urządzenia pomiarowe takie jak: aplikacja MyJump (Balsalobre-Fernández i wsp. 2017), system OptoJump (Słomka i wsp. 2017) oraz procedurę (SAM) szacującą średnie wartości F , V , P przy wykorzystaniu trzech wartości (masa badanego, wysokość wyskoku i głębokość zamachu) zaproponowana przez Samozino i współautorów (2008), której korelacja wyników

względem „złotego standardu” wynosi odpowiednio (F_{mean} -0,98; V_{mean} - 0,96; P_{mean} -0,98) (Giroux 2015; Janicijevic i wsp. 2019; Jiménez-Reyes i wsp. 2017).

Reasumując, wykorzystanie profilu (F - V) do oceny P_{max} jest możliwe jedynie do porównania wyników uzyskanych tą metodą co może zostać wykorzystane do monitorowania rozwoju zawodników w procesie treningowym, natomiast konieczne są kolejne badania porównujące parametry uzyskane z profilu (F - V) do „złotego standardu” przy użyciu maksymalnych parametrów danych wejściowych.

6. Wnioski

Analiza wyników badań pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków:

1. Profil siłowo-szybkościowy siatkarzy nie różnił się od profilu siłowo-szybkościowego badanej grupy.
2. Zadany wysiłek fizyczny miał wpływ na spadek wysokości wyskoku (HJ), średniej szybkości przemieszczania środka ciężkości (V_{mean}) oraz średnią generowaną moc (P_{mean}), natomiast nie oddziaływał na wielkość generowanej średniej siły (F_{mean}).
3. Wysoki pionowe o charakterze submaksymalnym nie wpływają na zmianę profilu siłowo-szybkościowego podczas wyskoku pionowego.
4. Wysiłek o charakterze izometrycznym nie wpływa na zdolność kinestetycznego różnicowania wysokości wyskoku podczas wyskoku pionowego.
5. Zastosowana metoda wyliczania mocy maksymalnej (P_{max}) przy użyciu parametrów (F_0 i V_0) odczytanych z profilu siłowo-szybkościowego badanej grupy nie pozwala na określenie rzeczywistej mocy maksymalnej badanych.

Bibliografia

- Abderrehmane, R., Viale F., Delleau G., i Jean-René L. 2001. „Force / velocity and power / velocity relationships in squat exercise”. *European Journal Of Applied Physiology And Occupational Physiology* 84: 227–32.
- Allen, D. G., i H. Westerblad. 2001. „Role of phosphate and calcium stores in muscle fatigue”. *Journal of Physiology* 536(3): 657–65.
- Allison, S., Brooke-Wavell, K., Folland, J. 2013. „Multiple joint muscle function with ageing: The force-velocity and power-velocity relationships in young and older men”. *Aging Clinical and Experimental Research* 25(2): 159–66.
- Asmussen, E. 1979. „Muscle Fatigue.” *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11(4), 313-321.
- Baechle, T., Earle, R.W. 2008. 83 *Physiotherapy Essentials of Strength Training and Conditioning*. red. Thomas R Baechle i Roger W Earle. Human Kinetics.
- Bajdziński, M., Starosta, W. 2002. Międzynarodowe Stowarzyszenie Motoryki Sportowej.. Akademia Wychowania Fizyczna w Poznaniu, Instytut Kultury Fizycznej w Gorzowie Wlkp., Instytut Sportu w Warszawie. Warszawa-Gorzów Kinestetyczne różnicowanie ruchu i jego uwarunkowania.
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M.L., Richard A. 2017. „The validity and reliability of an iphone app for measuring vertical jump performance running”. *Journal of sports sciences* 6(11): 951–52.
- Bańkosz, Ziemowit. 2015. „Reproduction of movement range and pressure force of the upper limbs in table tennis players”. *Trends in Sport Sciences* 2(222): 89–94.
- Bańkosz, Z., Szumielewicz, P. 2014. „Proprioceptive ability of fencing and table tennis practioners”. *Human Movement* 15(3): 128–33.
- Bastian, H.C. 1887. The "muscular sense"; its nature and cortical localisation. *Brain*, 10(1), 1-89.
- Bell, C. 1826. On the nervous circle which connects the voluntary muscles with the brain. *Philosophical Transactions od the Royal Society of London*, 116(1), 163-173.
- Bermstein, N.A. 1947. O postrojenii dwizenji. Medgiz. Moskwa
- Bigland-Ritchie, B., C. L. Rice, S. J. Garland, i M. L. Walsh. 1995. „Task-dependent factors in fatigue of human voluntary contractions”. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 384(February): 361–80.
- Bisson, E. J. 2010. „Acute effects of fatigue of the plantarflexor muscles on different postural tasks”. *Gait and Posture* 32(4): 482–86.
- Blume, D.D. 1981. Kennzeichnung koordinativer Fahigkeiten und Moglichkeiten ihrer Herausbildung im Trainingsprozes. *Wissenschaftliche Zeitzchrift der DHfK*, (3), 17-41.

- Bobbert, M. 2012. „Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic?” *Journal of Applied Physiology* 112(12): 1975–83.
- Bobbert, M. 2014. „Effect of unloading and loading on power in simulated countermovement and squat jumps”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 46(6): 1176–84.
- Bobbert, M, Casius, R., Dinant K.. 2013. „Humans make near-optimal adjustments of control to initial body configuration in vertical squat jumping”. *Neuroscience* 237: 232–42.
- Bobbert, M., Casius, R., Sijpkens, I., Jaspers, J. 2008. „Humans adjust control to initial squat depth in vertical squat jumping”. *Journal of Applied Physiology* 105(5): 1428–40.
- Bobbert, M, Schenau, J. 1988. „Coordination in vertical jumping.” *Journal of Biomechanics*. 21(3): 249–62.
- Bojsen-Møller, J. 2005. „Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures”. *Journal of Applied Physiology* 99(3): 986–94.
- Bompa, T., Zajac, A., Waśkiewicz, Z., Chmura, J. 2013. „Przygotowanie sprawnościowe w zespołowych grach sportowych.pdf”.
- Bonnard, M., Sirin, A., Oddsson, L., Thorstensson, A. 1994. „Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in humans.” *Neuroscience Letters* 166(1): 101–5.
- Brooks, J, Allen, T.J, Proske, U. 2013. „The senses of force and heaviness at the human elbow joint.” *Experimental Brain Research* 226(4): 617–29.
- Cafarelli, E, Bigland-Ritchie, B. 1979. „Sensation of static force in muscles of different length”. *Experimental Neurology* 65(3): 511–25.
- Canavan P, G Garrett, L Armstrong. 1996. *Kinematic_and_Kinetic_Relationships_Between_Kinematic_and_Kinetic_Relationships_Between_an_Olympic_Style_Lift_and_the_Vertical_Jump*. 10(2): 127–30.
- Canavan, Paul K., i Jason D. Vescovi. 2004. „Evaluation of power prediction equations: Peak vertical jumping power in women”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36(9): 1589–93.
- Carlock, J. M. 2004. „The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: A field-test approach”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(3): 534–39.
- Channell B.T., Barfield P.. 2008. „Effect of olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(5): 1522–27.
- Cheng, Kuangyou B. i in. 2008. „The mechanisms that enable arm motion to enhance vertical jump performance-A simulation study”. *Journal of Biomechanics* 41(9): 1847–54.
- Chmura, J, Nazar, K. 2010. „Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes”. *International Journal of Psychophysiology* 75(3):

287–90.

- Cohen J. 1977. „Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.” Edana International Nonwovens Symposium, Manuscripts and Presentations 2010: 142.
- Cormie, P, Grant O. McCaulley, i Jeffrey M. McBride. 2007. „Power versus strength-power jump squat training: Influence on the load-power relationship”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(6): 996–1003.
- Cormie, P, Mcguigan, M., Robert. Newton. 2011. „Developing Maximal Neuromuscular”. *Sports Medicine* 41(1): 17–39.
- Cormie, P, McGuigan, M., Robert Newton. 2010. „Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 42(8): 1582–98.
- Costello, J. T., Donnelly, A.E. 2010. „Cryotherapy and joint position sense in healthy participants: A systematic review”. *Journal of Athletic Training* 45(3): 306–16.
- Crago, P.E., Houk, J.C., Rymer, W.Z. 1982. Sampling of total muscle force by tendon organs. *Journal of Neurophysiology*, 47(6), 1069-1083.
- Cuk, I, Markovic, M., Nedeljkovic, A. 2014. „Force-velocity relationship of leg extensors obtained from loaded and unloaded vertical jumps.” *European journal of applied physiology* 114(8): 1703–14.
- Dal Pupo J, Dias J.A, Gheller RG. 2013. „Stiffness, intralimb coordination, and joint modulation during a continuous vertical jump test”. *Sports Biomechanics* 12(3): 259–71.
- Denisiuk, L., Milicerowa, H., 1969. *Rozwój sprawności motorycznej dzieci i młodzieży w wieku szkolnym*. PZWS, Warszawa.
- Dias, J O., Dal Pupo, J.U., Reis, D.C., Borges, L. 2011. „VALIDITY OF TWO METHODS FOR ESTIMATION OF VERTICAL JUMP HEIGHT”. *National Strength and Conditioning Association*: 2034–39.
- Dounskaia N. 2011. „Control of human limb movements: The leading joint hypothesis and its practical applications”. *Bone* 23(1): 1–7.
- Driss, T., H. Vandewalle, i H. Monod. 1998. „Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players: Correlation with the vertical jump test”. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 38(4): 286–93.
- Driss, T, H. Vandewalle, J.M. Le Chevalier, H Monod. 2002. „Force-Velocity Relationship on a Cycle Ergometer and Knee-Extensor Strength Indices”. *Canadian Journal of Applied Physiology* 27(3): 250–62.
- Driss, T, H. Vandewalle, H. Monod. 1998. „Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players: Correlation with the vertical jump test”. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 38(4): 286–93.
- Edwards, R.H.T. 1981. *Human muscle function and fatigue*. Novartis Foundation Symposia

- Enoka, R.M., Stuart, D.G. 1992. Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1631-1648.
- Enoka, R. M. 1995. „Mechanisms of muscle fatigue: Central factors and task dependency”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 5(3): 141–49.
- Ettema, GJC, AJ Van Soest, i PA Huijing. 1990. „Prestretch-Induced Work Enhancement During Isotonic and Isokinetic Contractions”. *Journal of experimental biology* 136: 121–36.
- Faigenbaum, A. 2000. „Strength training for children and adolescents”. *Clinics in sports medicine* 9(25 SUPPL.).
- Feeney, Daniel, Kaminski, T, W., Machi, A., Jaric, S. 2016. „Loaded vertical jumping: Force-velocity relationship, work, and power”. *Journal of Applied Biomechanics* 32(2): 120–27.
- Fenn, W, Marsh, B. 1935. „Muscular force at different speeds of shortening”. *The Journal of Physiology* 85(3): 277–97.
- Forestier, N., Nougier, V. 1998. „The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human”. *Neuroscience Letters* 252(3): 187–90.
- Gandevia, S. 2001. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *PHYSIOLOGICAL REVIEWS* 81(4).
- García-Ramos A, Torrejón A, Feriche B, Jaric S. 2018. „Selective effects of different fatigue protocols on the function of upper body muscles assessed through the force–velocity relationship”. *European Journal of Applied Physiology* 118(2): 439–47.
- García-Ramos, A, Jaric S, Padial P, Feriche B. 2016. „Force-velocity relationship of upper body muscles: Traditional versus ballistic bench press”. *Journal of Applied Biomechanics* 32(2): 178–85.
- Gear, W. S. 2011. „Effect of different levels of localized muscle fatigue on knee position sense”. *Journal of Sports Science and Medicine* 10(4): 725–30.
- Giroux, C. 2015. „What is the Best Method for Assessing Lower Limb Force-Velocity Relationship?” *Int J Sports Med.* (Feb): 143–49.
- Givoni, N. J., Pham T, Allen T.J, Proske U. 2007. „The effect of quadriceps muscle fatigue on position matching at the knee”. *Journal of Physiology* 584(1): 111–19.
- Glatthorn J, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S. 2011. „Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height.” *Journal of Strength and Conditioning Research* 25(2): 556–60.
- Górski J. 2010. *Fizjologia człowieka*. PZWL, Warszawa.
- Grządziel G, Ljach W. 2000. „Piłka siatkowa.” : 13: 31-34, 46–47. COS Warszawa
- Grządziel, Grzegorz, Dorota Szade, Barbara Nowak. 2010. „Piłka siatkowa” AWF Katowice.

- Han J, Waddington G, Anson J, Adams R. 2015. „Level of competitive success achieved by elite athletes and multi-joint proprioceptive ability”. *Journal of Science and Medicine in Sport* 18(1): 77–81.
- Hara M, Shibayama A, Takeshita D, Hay D.C., Fukashiro S. 2008. „A comparison of the mechanical effect of arm swing and countermovement on the lower extremities in vertical jumping”. *Human Movement Science* 27(4): 636–48.
- Harman E.A., Rosenstein M.T, Frykman P.N, Rosenstein R.M. 1990. „The effects of arms and countermovement on vertical jumping”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 22(6): 825–33.
- Helmholtz, H. 1879/1925. *Treatise on Physiological Optics: Vol. 3. The Perceptions of Vision.* (Optical Society of America, Rochester NY).
- Hill, A. 1938. „The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle”. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 126(843): 136–95.
- Hirtz, P. 1985. *Koordinative Fähigkeiten in Schulsport.* Berlin: Sportverlag.
- Holmberg, P.M. 2013. „Weightlifting to improve volleyball performance”. *Strength and Conditioning Journal* 35(2): 79–88.
- van Ingen Schenau, G.J, van Soest A.J, Gabreëls F.J.M, Horstink M.W.I.M. 1995. „The control of multi-joint movements relies on detailed internal representations”. *Human Movement Science* 14(4–5): 511–38.
- James R, Scheuermann B, Smith M. 2010. „Effects of two neuromuscular fatigue protocols on landing performance”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 20(4): 667–75.
- Janicijevic D, Knezevic O, Mirkov D. 2019. „Assessment of the force-velocity relationship during vertical jumps: influence of the starting position, analysis procedures and number of loads”. *European Journal of Sport Science* 0(0): 1–10.
- Jaric S. 2015. „Force-velocity Relationship of Muscles Performing Multi-joint Maximum Performance Tasks”. *International Journal of Sports Medicine* 36(9): 699–704.
- Jaric S. 2016. „Two-Load Method for Distinguishing Between Muscle Force, Velocity, and Power-Producing Capacities”. *Sports Medicine* 46(11): 1585–89.
- Jaric S, Markovic G. 2009. „Leg muscles design: the maximum dynamic output hypothesis.” *Medicine and science in sports and exercise* 41(4): 780–87.
- Jaskólska A. Goossens P, Veenstra B. Skinnen J. 2007. „Comparison of Treadmill and Cycle Ergometer Measurements of Force-Velocity Relationships and Power Output. *International Journal of Sports Medicine* 20(03): 192–97.
- Jaskólski A, Jaskólska A. 2006. „Podstawy fizjologii wysiłku fizycznego z zarysem fizjologii człowieka”. : 269–336. AWF Wrocław
- Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñafiel V . 2014. „Effect of countermovement on power–force–velocity profile”. *European Journal of Applied Physiology* 114(11): 2281–88.

- Jiménez-Reyes, P., Samozino, P., García-Ramos, A., Cuadrado-Peñañiel, V., Morin, J.B. 2018. „Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice”. *PeerJ* 2018(11): 1–18.
- Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J.B. 2017. „Effectiveness of an individualized training based on force-velocity profiling during jumping”. *Frontiers in Physiology* 7(JAN): 1–13.
- Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Suei K. 1983. Training effect of different loads on the force–velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Sports Sci.* 5:50–5.
- Klarova P. 2000. „Vertical-jump tests: a critical review”. *Strength and Conditioning Journal:* 1–11.
- Komi P. V. 2000. „Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle.” *Journal of Biomechanics* 33(10): 1197–1206.
- Kraemer W. J, Mazzetti S. A, Nindl B. C. 2001. „Effect of resistance training on women’s strength/power and occupational performances”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33(6): 1011–25.
- Kraemer W.J, Häkkinen K, Triplett-McBride, N. T. 2003. „Physiological changes with periodized resistance training in women tennis players”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35(1): 157–68.
- Lara-Sanchez A, Abián-Vicen A, Alegre L.M, Linares L.J. 2006. „Assessment of power output in jump tests for applicants to a sports sciences degree”. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 46(3): 419–24.
- Lara-Sanchez A, Zegalaz M, Berdejo-Del-Fresno D. 2011. „Jump peak power assessment through power prediction equations in different samples amator”. 25(7): 1957–62.
- Lehnert, M, Lamrova J, Elfmark M. 2009. „Changes in Speed and Strength in Female Volleyball Players During and After a Plyometric Training Program”. *Acta Univ. Palacki. Olomuc. Gymnica* 39(1): 59–66.
- Linthorne N.P. 2001. „Analysis of standing vertical jumps using a force platform”. *American Journal of Physics* 69(11): 1198–1204.
- Ljach, W. 1979. Faktornaja struktura łowkosti s pozicii mnogourowniewoj sistemy prawlenija proizwolnymi dwizeniami. *Teorija i Praktyka Fiziczeskoj Kultury*
- Lloyd, Rhodri S., Jon L. Oliver, Michael G. Hughes, i Craig A. Williams. 2012. „Age-related differences in the neural regulation of stretch-shortening cycle activities in male youths during maximal and sub-maximal hopping”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 22(1): 37–43.
- Lorist M, Kernell D, Meijman T.F, Zijdwind I. 2002. „Motor fatigue and cognitive task performance in humans”. *Journal of Physiology* 545(1): 313–19.

- Mandic R, Jakovljevic S, Jaric S. 2015. „Effects of countermovement depth on kinematic and kinetic patterns of maximum vertical jumps”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 25(2): 265–72.
- Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. 2004. „Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 18(3): 551–55.
- Markovic G, Jaric S. 2007. „Positive and negative loading and mechanical output in maximum vertical jumping”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(10): 1757–64.
- Markovic G, Srdjan, Mirkov D, Nedeljkovic A, Jaric S. 2014. „Body size and countermovement depth confound relationship between muscle power output and jumping performance”. *Human Movement Science* 33(1): 203–10.
- Mascaro, T., B. L. Seaver, i L. Swanson. 1992. „Prediction of skating speed with off-ice testing in professional hockey players”. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 15(2): 92–98.
- McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. 1999. A comparison of strength and power characteristics between power lifter, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res* 13:58–66
- McCloskey D, Ebeling I.P, Goodwin G.M. 1974. „Estimation of weights and tensions and apparent involvement of a «sense of effort»”. *Experimental Neurology* 42(1): 220–32.
- McLellan C. 2011. „The role of rate of force development on vertical jump performance”. *Strength And Conditioning* 25(2): 379–85.
- Meinel, K. 1967. *Motoryczność ludzka. Turystyka i Sport*, Warszawa.
- Mello R.G.T., Oliveira L.F, Nadal J. 2007. „Anticipation mechanism in body sway control and effect of muscle fatigue”. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 17(6): 739–46.
- Mitchell L. J., Argus C. K., Taylor K. L., Sheppard J. M., Chapman, D. W. 2017. The effect of initial knee angle on concentric-only squat jump performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 88(2), 184–192.
- Mleczo, E. 1992. Przegląd poglądów na temat motoryczności człowieka. *Antropomotoryka*, (8), 109-140.
- Morin J, Samozino P, Bonnefoy R, Edouard P, Belli A. 2010. „Direct measurement of power during one single sprint on treadmill”. *Journal of Biomechanics* 43(10): 1970–75.
- Nardonea T, Tarantolaa J, Schieppatic M. 1997. „Fatigue effects on body balance”. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*
- Nešić G, Ilić D, Majstorović N. 2013. „Training Effects on General and Specific Motor Skills on Female Volleyball Players 13-14 Years Old”. *Sportlogia* 9(2): 119–27.
- Nikolaidis P. 2012. „Age- and sex-related differences in force-velocity characteristics of upper and lower limbs of competitive adolescent swimmers”. *Journal of Human Kinetics* 32(1): 87–95.

- Nuzzo J.L, McBride J, Dayne A, Israetel M. 2010. „Testing of the maximal dynamic output hypothesis in trained and untrained subjects.” *Journal of Strength and Conditioning Research* 24(5): 1269–76.
- Nuzzo J, McBride J, Cormie P, Mccauley G. 2008. „Relationship Between Countermovement Jump Performance and Multijoint”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(3): 699–707.
- Olivier, N., Rockmann, U. 2003: *Grundlagen der Bewegungswissenschaft und -lehre*. Karl Hofmann Verlag. Schorndorf
- Palao J.M, Valades D. 2009. „Testing protocol for monitoring spike and serve speed in volleyball”. *Strength and Conditioning Journal* 31(6): 47–51.
- Pazin N, Berjan B, Nedeljkovic A, Markovic G. 2013. „Power output in vertical jumps: Does optimum loading depend on activity profiles?” *European Journal of Applied Physiology* 113(3): 577–89.
- Peterson Silveira R, Stergiou P, Carpes F.P. 2017. „Validity of a portable force platform for assessing biomechanical parameters in three different tasks”. *Sports Biomechanics* 16(2): 177–86.
- Petridis L, Pálincás G, Tróznai Z. 2021. „Determining strength training needs using the force-velocity profile of elite female handball and volleyball players”. *International Journal of Sports Science & Coaching* 16(1): 123–30.
- Pohlmann, R. 1994. *Was ist, was kann Motorik? Eine Gegenstands - und Aufgabenbestimmung*. Gesamthochschul - Bibliothek, Kassel.
- Postle K, Pak D, Smith T.O. 2012. „Effectiveness of proprioceptive exercises for ankle ligament injury in adults: a systematic literature and meta-analysis.” *Manual Therapy* 17(4): 285–91.
- Raczek J. 1986. *tendencje przemian w rozwoju sprawności motorycznej populacji szkolnej*. W: *Motoryczność dzieci i młodzieży - aspekt teoretyczny oraz implikacje metodyczne*. AWF, katowice, 257-264.
- Raczek J. 1987. *Motoryczność człowieka w świetle współczesnych poglądów i badań*. Wychowanie fizyczne i sport, 1, 5-25.
- Raczek J. 1989. *Problem okresów sensytywnych i krytycznych w rozwoju ontogenetycznym*. *Antropomotoryka*, 2, 89-101.
- Raczek J, Mynarski W, Ljach W. 2002. *Kształtowanie i diagnozowanie koordynacyjnych zdolności motorycznych* - Szukaj w Google. AWF Katowice.
- Raczek, J. 2010. *Antropomotoryka*. wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Rambaud O., A. Rahmani B. Moyen, Bourdin M. 2012. „Importance of upper-limb inertia in calculating concentric bench-press force”. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 10(SUPPL. 1): 33–34.

- Raynor A. 2001. „Strength, power, and coactivation in children with developmental coordination disorder”. *Developmental Medicine and Child Neurology* 43(10): 676.
- Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. 2007. „Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly”. *European Journal of Applied Physiology* 99(4): 379–85.
- Robbins D.W, Docherty D. 2005. „Effect of loading on enhancement of power performance over three consecutive trials”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 19(4): 898–902.
- Rodacki A, Rodacki L, Fowler N, Bennett S. 2002. „Vertical jump coordination : Fatigue effects Vertical jump coordination : fatigue effects”. *Medicine & Science in Sports and Exercise* (FEBRUARY): 105–16.
- Roth K., Willimczik K. 1999. *Bewegungswissenschaft*. Rowohlt. Reinbeck.
- Samozino Pierre, Rejc E, Belli A. Morin J. 2012. „Optimal force-velocity profile in ballistic movements-Altius: Citius or Fortius?” *Medicine and Science in Sports and Exercise* 44(2): 313–22.
- Samozino P, Edouard P, Brughelli, M, Morin J. 2014. „Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance”. *International Journal of Sports Medicine* 35(6): 505–10.
- Samozino P, Rejc E, Di Prampero P, Morin J. 2014. „Force-velocity properties’ contribution to bilateral deficit during ballistic push-off”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 46(1): 107–14.
- Samozino P, Morin J, Hintzy F, Belli A. 2008. „A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump”. *Journal of Biomechanics* 41(14): 2940–45.
- Samozino P., Morin, J, Hintzy F. Belli A. 2010. „Jumping ability: A theoretical integrative approach”. *Journal of Theoretical Biology* 264(1): 11–18.
- Sargent, D. A. 1921. „The Physical Test of a Man”. *American Physical Education Review* 26(4): 188–94.
- Scates, Allen, Mike Linn, i Vince Kowalick. 2003. *Complete Conditioning for Volleyball*.
- Sevrez V, Bourdin Ch. 2015. „On the Role of Proprioception in Making Free Throws in Basketball”. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 86(3): 274–80.
- Sheppard J.M, Cronin J.B, Gabbett T.J. 2008. „Relative importance of strength, power, and anthropometric measures to jump performance of elite volleyball players”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 22(3): 758–65.
- Sherrington, C. S. 1906. „Observations on the scratch-reflex in the spinal dog”. *The Journal of Physiology* 34(1–2): 1–50.
- Schnabel G, Harre D, Orde A. 1994. *Trainingswissenschaft- Leistung- Training- Wettkampf*. Sportverlag. Berlin
- Słomka K. 2015. Wpływ wysiłków o charakterze siłowym oraz wytrzymałościowym na

- przejawy kinestetycznego różnicowania. AWF Katowice.
- Słomka K, Sobota G, Skowronek T, Rzepko M, Czarny W, Juras G. 2017. „Evaluation of reliability and concurrent validity of two optoelectric systems used for recording maximum vertical jumping performance versus the gold standard”. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 19(2): 141–47.
- Słomka K, Rzepko M, Jaric S, Sobota G, Litkowycz R, Skowronek T, Juras G. 2018. „Effects of Reduced Effort on Mechanical Output Obtained From Maximum Vertical Jumps”. *Motor Control*: 1–11.
- Sozański, Henryk. 1993. „Podstawy Teorii Treningu.” Centralny ośrodek sportu.
- Sprague R, Martin J, Davidson Ch, Farrar R. 2007. „Force-velocity and power-velocity relationships during maximal short-term rowing ergometry”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 39(2): 358–64.
- Sreckovic S, Cuk I, Djuric S, Nedeljkovic A. 2015. „Evaluation of force–velocity and power–velocity relationship of arm muscles”. *European Journal of Applied Physiology* 115(8): 1779–87.
- Starosta, W. 1990. *Koordinacja ruchowa w sporcie*. Instytut Sportu, Warszawa.
- Starosta W.. 2003. *Motoryczne zdolności koordynacyjne (znaczenie, struktura, uwarunkowania, kształtowanie*. Warszawa.
- Strang A, Berg W. 2007. „Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments”. *Experimental Brain Research* 178(1): 49–61.
- Struzik A, Pietraszewski B, Kawczyński A, Winiarski S, Grzegorz J. „Manifestations of proprioception during vertical jumps to specific heights”. *Journal of Strength and Conditioning Research* 31(6): 1694–1701.
- Struzik A, Zawadzki J. 2013. „Leg stiffness during phases of countermovement and take-off in vertical jump”. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* 15(2): 113–18.
- Suzovic D, Markovic G, Pasic M, Jaric S. 2013. „Optimum load in various vertical jumps support the maximum dynamic output hypothesis”. *International Journal of Sports Medicine* 34(11): 1007–14.
- Szopa J. 1992. *Zarys antropomotoryki*. AWF, Kraków.
- Szopa J. 1994. Raz jeszcze o strukturze motoryczności - próba syntezy. *Antropomotoryka*. 10, 217-227.
- Szopa J, Mleczko E, Żak S. 1996. *Podstawy antropomotoryki*. PWN, Warszawa- Kraków.
- Ugrinowitsch C, Tricoli V, Rodacki A, Ricard M, 2007. Influence of training background on jumping height. *J. Strength. Cond. Res.* 21, 848-52.
- Vandewalle H, Peres G, Heller J, Panel J. 1987. „Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer - Correlation with the height of a vertical jump”. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 56(6): 650–56.

- Vanrenterghem J, Lees A, Lenoir M, Aerts P. 2004. „Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping”. *Human Movement Science* 22(6): 713–27.
- Walshe A.D, Wilson G.J, Ettema G.J.C. 1998. „Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: Contributions to enhanced muscular performance”. *Journal of Applied Physiology* 84(1): 97–106.
- Waškiewicz Z. 2002. „Wpływ wysiłku anaerobowych na wybrane aspekty koordynacji motorycznej..pdf”.
- Wilkie D.R. 1949. „The relation between force and velocity in human muscle.” *Journal of physiology*. (1950): 249–80.
- Yamauchi J, Mishima C, Fujiwara M. 2007. „Steady-state force-velocity relation in human multi-joint movement determined with force clamp analysis”. *Journal of Biomechanics* 40(7): 1433–42.
- Yamauchi J, Mishima C. 2010. „Aging-related differences in maximum force, unloaded velocity and power of human leg multi-joint movement”. *Gerontology* 56(2): 167–74.
- Yamauchi J, Mishima C, Nakayama S, Ishii N. 2009. „Force-velocity, force-power relationships of bilateral and unilateral leg multi-joint movements in young and elderly women”. *Journal of Biomechanics* 42(13): 2151–57.
- Yoshihuku Y, Herzog W. 1996. „Maximal muscle power output in cycling: A modelling approach”. *Journal of Sports Sciences* 14(2): 139–57.
- Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Aerts, P., De Clercq, D. 2004. Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Human Movement Science*, 22(6), 713-727
- Van Zandwijk J.P, Bobbert M, Munneke M, Pas P. 2000. „Control of maximal and submaximal vertical jumps”. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32(2): 477–85.

Spis rycin:

Rycina 1. Rodzaje skoku pionowego (a) skok z zamachem (CMJ), (b) skok z półprzysiadu (SJ) (Linthorne 2001).	16
Rycina 2. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach jednostawowych (Hill 1938).	20
Rycina 3. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach wielostawowych (Samozino i wsp. 2014).	22
Rycina 4. Zależność siły do prędkości (F – V) uzyskana z modelu regresji liniowej zastosowanej w sześciu punktach eksperymentalnych obserwowanych podczas ćwiczeń z obciążeniami w zakresie od 20 do 57,5 kg dane przedstawione za pomocą linii przerywanej, ta sama zależność jest również pokazana w modelu skonstruowanym z dwóch obciążeń jako linii ciągła (Sreckovic i wsp. 2015).	23
Rycina 5. Zależność siły (F) do szybkości (V) linia ciągła oraz mocy (P) do szybkości (V) linia przerywana w ruchach wielostawowych (Jaric 2015).	24
Rycina 6. Rycina obrazująca protokół wysiłkowy – piętnastosekundowy maksymalny skurcz izometryczny wykonywany w półprzysiadzie z ograniczeniem możliwości wykonania wyprostu.	33
Rycina 7. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłku.	36
Rycina 8. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość po wykonaniu protokołu wysiłku.	37
Rycina 9. Profile F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.	38
Rycina 10. Profile F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych na maksymalną wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.	38
Rycina 11. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na 50% wysokość przed protokołem wysiłku.	39
Rycina 12. Profil F-V w obu badanych grupach podczas wyskoków pionowych na 50% wysokość po wykonanym protokole wysiłku.	40
Rycina 13. Profile F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych na zadaną (50%) wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.	41
Rycina 14. Profile F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych na zadaną (50%) wysokość przed i po wykonaniu protokołu wysiłku.	41
Rycina 15. Wysokość wyskoku w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).	43
Rycina 16. Wysokość wyskoku w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).	44
Rycina 17. Średnia szybkość przemieszczania ośrodka ciężkości ciała podczas wyskoku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).	45
Rycina 18. Średnia szybkość przemieszczania ośrodka ciężkości ciała podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).	46

Rycina 19. Średnia siła nacisku stóp na platformę podczas wyskoku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).....	47
Rycina 20. Średnia siła nacisku stóp na podłoże podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).....	48
Rycina 21. Średnia moc podczas wyskoku pionowego w grupie zawodników w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).....	49
Rycina 22. Średnia moc podczas wyskoku pionowego w grupie kontrolnej w trzech warunkach pomiarowych (0 kg, 9 kg, 27 kg).....	50
Rycina 23. Profil F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych na przed protokołem wysiłkowym.....	51
Rycina 24. Profil F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych na przed protokołem wysiłkowym.....	52
Rycina 25. Profil F-V w grupie zawodników podczas wyskoków pionowych po wykonaniu protokołem wysiłkowego.	53
Rycina 26. Profil F-V w grupie kontrolnej podczas wyskoków pionowych po wykonaniu protokołem wysiłkowego.	53
Rycina 27. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia wysokość wyskoku w grupie kontrolnej.	54
Rycina 28. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia wysokość wyskoku w grupie siatkarzy.	54
Rycina 29. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia prędkość (V_{mean}) w grupie kontrolnej.	55
Rycina 30. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia prędkość (V_{mean}) w grupie siatkarzy.	56
Rycina 31. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia siła (F_{mean}) w grupie kontrolnej.	57
Rycina 32. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia siła (F_{mean}) w grupie siatkarzy.	57
Rycina 33. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia moc (P_{mean}) w grupie kontrolnej.	58
Rycina 34. Bezwzględny błąd różnicowania i średnia moc (P_{mean}) w grupie zawodników.	58
Rycina 35. Wartości mocy maksymalnej w grupie kontrolnej odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamo graficzna podczas wyskoków na maksymalną wysokość).....	60
Rycina 36. Wartości mocy maksymalnej w grupie zawodników odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamo graficzna podczas wyskoków na maksymalną wysokość).....	61
Rycina 37. Wartości mocy maksymalnej w grupie kontrolnej odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamo graficzna podczas wyskoku na połowę maksymalnych możliwości.	62
Rycina 38. Wartości mocy maksymalnej w grupie zawodników odczytany z dwóch źródeł tj. model regresji oraz platforma dynamo graficzna podczas wyskoku na połowę maksymalnych możliwości.	63

Spis tabel:

Tabela 1. Zdolności motoryczne i ich podstawowa charakterystyka	12
Tabela 2. Charakterystyka grupy badanej i grupy kontrolnej	30
Tabela.3. Porównanie współczynnika regresji liniowej (Slope) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość przed protokołem wysiłku	37
Tabela 4. Porównanie współczynnika regresji liniowej (Slope) w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość po wykonaniu protokołu wysiłku	37
Tabela 5. Porównanie wewnątrzgrupowe współczynnika regresji liniowej w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość w obu warunkach	39
Tabela 6. Porównanie regresji współczynniki regresji liniowej w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na 50% wysokość przed protokołem wysiłku	40
Tabela 7. Porównanie współczynnika regresji liniowej w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na 50% wysokości po wykonanym protokole wysiłku	40
Tabela 8. Porównanie wewnątrzgrupowe współczynnika regresji regresji liniowej w grupie badanej i kontrolnej podczas wyskoków na maksymalną wysokość w obu warunkach	42
Tabela 9. Porównanie wysokości wyskoku (HJ) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	43
Tabela 10. Porównanie wysokości wyskoku (HJ) w grupie kontrolnej przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	44
Tabela 11. Porównanie średniej szybkości (Vmean) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	45
Tabela 12. Porównanie średniej szybkości (Vmean) w grupie kontrolnej przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	46
Tabela 13. Porównanie średniej siły (Fmean) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	47
Tabela 14. Porównanie średniej siły (Fmean) w grupie studentów przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	48
Tabela 15. Porównanie średniej mocy (Pmean) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po wysiłku (PO)	49
Tabela 16. Porównanie średniej mocy (Pmean) w grupie zawodników przed wysiłkiem (PW) do wyników po protokole wysiłku (PO)	50
Tabela 17. Porównanie średniego wskaźnika nachylenia profilu (Slope) przed wysiłkiem w grupie zawodników i kontrolnej podczas wyskoków maksymalnych i na 50% możliwości... ..	52
Tabela 18. Porównanie średniego wskaźnika nachylenia profilu (Slope) po wysiłku fizycznym w grupie zawodników i kontrolnej podczas wyskoków maksymalnych i na 50% możliwości	53
Tabela 19. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w wysokości wyskoku w grupie kontrolnej i siatkarzy	55
Tabela 20. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w średniej szybkości (Vmean) w grupie kontrolnej badanej siatkarzy	56
Tabela 21. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w średniej sile (Fmean) w grupie kontrolnej i siatkarzy	57

Tabela 22. Porównanie średniego błędu różnicowania (WR) w średniej mocy (P_{mean}) w grupie kontrolnej i siatkarzy.....	59
Tabela 23. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie kontrolnej odczytanego z modelu regresji i z platformy podczas wyskoków na maksymalną wysokość	60
Tabela 24. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie zawodników odczytanego z modelu regresji i z platformy podczas wyskoków na maksymalną wysokość	61
Tabela 25. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie kontrolnej dla prób na połowę możliwości odczytanego z modelu regresji i z platformy	62
Tabela 26. Porównanie mocy maksymalnej (P_{max}) w grupie zawodników w próbie na połowie możliwości odczytanego z modelu regresji i z platformy	63

Aneks

Tabela 1. Statystyka opisowa grupy siatkarzy.

	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. Stad.	Skośność	Kurtoza
JumpHeight_0_PW	0,379	0,325	0,432	0,0292	-0,292	0,356
Vmean_0_PW	1,36	1,26	1,45	0,053	-0,400	0,375
Fmean_0_PW	1730	1229	2345	349	0,406	-0,887
Pmean_0_PW	2362	1726	3411	519	0,738	-0,090
JumpHeight_9_PW	0,349	0,308	0,422	0,031	1,102	1,816
Vmean_9_PW	1,31	1,23	1,44	0,058	0,975	1,526
Fmean_9_PW	1872	1365	2561	354	0,556	-0,496
Pmean_9_PW	2457	1799	3685	546	1,043	0,784
JumpHeight_27_PW	0,284	0,244	0,372	0,037	1,315	1,879
Vmean_27_PW	1,18	1,09	1,35	0,074	1,174	1,446
Fmean_27_PW	2013	1494	2654	331	0,495	-0,296
Pmean_27_PW	2389	1750	3586	527	1,123	0,997
JumpHeight_0_PO	0,350	0,284	0,421	0,047	0,172	-1,116
Vmean_0_PO	1,31	1,18	1,44	0,088	0,081	-1,131
Fmean_0_PO	1763	1256	2262	310	-0,069	-1,030
Pmean_0_PO	2306	1662	3251	456	0,640	0,129
JumpHeight_9_PO	0,305	0,249	0,380	0,036	0,457	0,488
Vmean_9_PO	1,22	1,10	1,37	0,072	0,298	0,260
Fmean_9_PO	1819	1279	2329	297	0,035	-0,255
Pmean_9_PO	2226	1592	3181	433	0,851	0,900
JumpHeight_27_PO	0,235	0,181	0,301	0,032	0,571	0,404
Vmean_27_PO	1,07	0,943	1,214	0,073	0,391	0,337
Fmean_27_PO	1995	1406	2431	306	-0,183	-0,283
Pmean_27_PO	2143	1520	2827	399	0,426	-0,314
JumpHeight_0_PW_50	0,291	0,247	0,353	0,034	0,542	-0,404
Vmean_0_PW_50	1,19	1,10	1,32	0,070	0,441	-0,539
Fmean_0_PW_50	1513	1078	2083	304	0,479	-0,816
Pmean_0_PW_50	1812	1311	2740	429	0,899	0,204
JumpHeight_9_PW_50	0,284	0,251	0,355	0,03	1,170	0,553
Vmean_9_PW_50	1,18	1,11	1,32	0,07	1,094	0,325
Fmean_9_PW_50	1693	1195	2315	321	0,408	-0,343
Pmean_9_PW_50	2010	1349	3054	472	0,866	0,825
JumpHeight_27_PW_50	0,229	0,193	0,312	0,04	1,275	1,147
Vmean_27_PW_50	1,06	0,973	1,24	0,08	1,155	0,732
Fmean_27_PW_50	1830	1359	2413	311	0,451	-0,645
Pmean_27_PW_50	1953	1403	2983	474	0,964	0,319
JumpHeight_0_PO_50	0,270	0,203	0,355	0,05	0,171	-0,665
Vmean_0_PO_50	1,15	0,999	1,32	0,10	0,021	-0,800
Fmean_0_PO_50	1544	1060	2052	287	0,073	-0,656
Pmean_0_PO_50	1780	1256	2709	431	0,880	0,486
JumpHeight_9_PO_50	0,233	0,163	0,280	0,04	-0,478	-1,139
Vmean_9_PO_50	1,06	0,893	1,171	0,10	-0,581	-0,963
Fmean_9_PO_50	1593	1154	1952	257	-0,107	-1,012
Pmean_9_PO_50	1704	1140	2189	362	-0,040	-1,386
JumpHeight_27_PO_50	0,189	0,143	0,248	0,03	0,250	-0,543
Vmean_27_PO_50	0,958	0,837	1,10	0,08	0,097	-0,707
Fmean_27_PO_50	1814	1274	2306	311	0,146	-0,370
Pmean_27_PO_50	1752	1189	2542	409	0,454	-0,480

Tabela 2. Statystyka opisowa grupy kontrolnej.

	Średnia	Minimum	Maksimum	Odch. Stad.	Skośność	Kurtoza
JumpHeight_0_PW	0,374	0,313	0,461	0,039	0,417	0,841
Vmean_0_PW	1,35	1,24	1,50	0,071	0,254	0,574
Fmean_0_PW	1498	1209	1870	201	0,191	-0,506
Pmean_0_PW	2028	1602	2611	306	0,210	-0,473
JumpHeight_9_PW	0,324	0,263	0,383	0,034	-0,377	-0,167
Vmean_9_PW	1,26	1,14	1,37	0,067	-0,492	-0,138
Fmean_9_PW	1618	1374	1970	208	0,477	-1,286
Pmean_9_PW	2041	1583	2569	311	0,039	-1,003
JumpHeight_27_PW	0,261	0,202	0,315	0,034	-0,096	-0,618
Vmean_27_PW	1,13	0,995	1,24	0,074	-0,224	-0,520
Fmean_27_PW	1831	1528	2174	198	0,052	-0,737
Pmean_27_PW	2071	1626	2517	285	-0,235	-1,022
JumpHeight_0_PO	0,311	0,187	0,390	0,050	-0,898	2,561
Vmean_0_PO	1,23	0,958	1,38	0,104	-1,279	3,554
Fmean_0_PO	1526	1283	1786	163	-0,301	-1,113
Pmean_0_PO	1875	1526	2416	239	0,512	1,065
JumpHeight_9_PO	0,262	0,178	0,312	0,036	-0,845	1,458
Vmean_9_PO	1,13	0,934	1,24	0,080	-1,086	2,071
Fmean_9_PO	1597	1338	1857	177	-0,233	-1,190
Pmean_9_PO	1805	1478	2247	230	0,447	-0,675
JumpHeight_27_PO	0,203	0,129	0,256	0,031	-0,516	2,518
Vmean_27_PO	0,995	0,794	1,121	0,079	-0,927	3,339
Fmean_27_PO	1748	1414	2122	216	-0,036	-0,950
Pmean_27_PO	1743	1370	2346	293	0,833	0,162
JumpHeight_0_PW_50	0,280	0,158	0,344	0,048	-1,187	2,738
Vmean_0_PW_50	1,17	0,880	1,30	0,107	-1,548	3,890
Fmean_0_PW_50	1305	876	1512	188	-1,137	0,633
Pmean_0_PW_50	1534	771	1896	295	-1,484	2,886
JumpHeight_9_PW_50	0,251	0,181	0,304	0,032	-0,491	0,840
Vmean_9_PW_50	1,11	0,941	1,22	0,072	-0,706	1,243
Fmean_9_PW_50	1442	1112	1752	204	0,195	-0,948
Pmean_9_PW_50	1604	1046	1999	298	-0,047	-0,652
JumpHeight_27_PW_50	0,198	0,111	0,262	0,042	-0,615	0,145
Vmean_27_PW_50	0,980	0,737	1,133	0,109	-0,880	0,665
Fmean_27_PW_50	1631	1262	1971	207	-0,193	-0,732
Pmean_27_PW_50	1610	1047	2046	329	-0,486	-0,757
JumpHeight_0_PO_50	0,242	0,149	0,344	0,047	0,300	1,632
Vmean_0_PO_50	1,08	0,856	1,30	0,106	-0,123	1,666
Fmean_0_PO_50	1353	1021	1564	174	-0,929	0,220
Pmean_0_PO_50	1470	1029	1882	259	-0,437	-0,284
JumpHeight_9_PO_50	0,206	0,124	0,259	0,036	-0,783	0,818
Vmean_9_PO_50	1,00	0,781	1,13	0,092	-1,045	1,477
Fmean_9_PO_50	1428	1167	1650	169	-0,446	-1,087
Pmean_9_PO_50	1432	1063	1860	239	0,183	-0,502
JumpHeight_27_PO_50	0,154	0,090	0,213	0,035	-0,285	-0,764
Vmean_27_PO_50	0,862	0,666	1,02	0,103	-0,479	-0,649
Fmean_27_PO_50	1564	1210	1967	211	-0,040	0,134
Pmean_27_PO_50	1360	909	2009	306	0,415	0,334

Tabela 3. Wyniki testu normalności rozkładu Shapiro- Wilka

	Zawodnicy			Gr. Kontrolna		
	maks D	w	p	maks D	w	p
JumpHeight_0_PW	0,142	0,953	0,648	0,155	0,952	0,631
Vmean_0_PW	0,145	0,948	0,571	0,150	0,957	0,709
Fmean_0_PW	0,140	0,958	0,717	0,137	0,960	0,754
Pmean_0_PW	0,174	0,939	0,440	0,135	0,958	0,726
JumpHeight_9_PW	0,194	0,894	0,112	0,159	0,953	0,638
Vmean_9_PW	0,188	0,906	0,163	0,166	0,946	0,543
Fmean_9_PW	0,213	0,925	0,296	0,208	0,902	0,144
Pmean_9_PW	0,230	0,885	0,084	0,122	0,963	0,805
JumpHeight_27_PW	0,236	0,876	0,064	0,108	0,974	0,933
Vmean_27_PW	0,227	0,894	0,112	0,101	0,971	0,909
Fmean_27_PW	0,199	0,938	0,437	0,166	0,957	0,713
Pmean_27_PW	0,178	0,898	0,124	0,144	0,952	0,636
JumpHeight_0_PO	0,135	0,952	0,632	0,193	0,913	0,200
Vmean_0_PO	0,123	0,955	0,671	0,210	0,882	0,075
Fmean_0_PO	0,151	0,962	0,787	0,200	0,918	0,237
Pmean_0_PO	0,149	0,948	0,575	0,173	0,934	0,383
JumpHeight_9_PO	0,105	0,975	0,949	0,112	0,941	0,474
Vmean_9_PO	0,103	0,981	0,984	0,125	0,922	0,268
Fmean_9_PO	0,141	0,961	0,765	0,166	0,926	0,305
Pmean_9_PO	0,221	0,931	0,354	0,190	0,954	0,665
JumpHeight_27_PO	0,210	0,939	0,449	0,232	0,877	0,065
Vmean_27_PO	0,198	0,949	0,588	0,218	0,897	0,075
Fmean_27_PO	0,144	0,951	0,612	0,145	0,963	0,792
Pmean_27_PO	0,131	0,946	0,533	0,148	0,926	0,302
JumpHeight_0_PW_50	0,135	0,926	0,302	0,172	0,909	0,178
Vmean_0_PW_50	0,127	0,933	0,375	0,194	0,871	0,054
Fmean_0_PW_50	0,224	0,925	0,291	0,251	0,874	0,058
Pmean_0_PW_50	0,257	0,892	0,104	0,178	0,884	0,082
JumpHeight_9_PW_50	0,197	0,873	0,057	0,136	0,967	0,851
Vmean_9_PW_50	0,186	0,884	0,080	0,147	0,954	0,666
Fmean_9_PW_50	0,201	0,955	0,674	0,140	0,936	0,405
Pmean_9_PW_50	0,214	0,932	0,363	0,182	0,920	0,249
JumpHeight_27_PW_50	0,192	0,837	0,219	0,122	0,971	0,905
Vmean_27_PW_50	0,183	0,852	0,330	0,142	0,949	0,587
Fmean_27_PW_50	0,188	0,931	0,347	0,161	0,964	0,813
Pmean_27_PW_50	0,241	0,875	0,061	0,160	0,923	0,277
JumpHeight_0_PO_50	0,171	0,964	0,814	0,179	0,959	0,736
Vmean_0_PO_50	0,183	0,962	0,788	0,167	0,960	0,756
Fmean_0_PO_50	0,169	0,968	0,876	0,162	0,893	0,108
Pmean_0_PO_50	0,211	0,909	0,175	0,139	0,952	0,636
JumpHeight_9_PO_50	0,189	0,891	0,101	0,140	0,961	0,762
Vmean_9_PO_50	0,192	0,884	0,080	0,156	0,937	0,423
Fmean_9_PO_50	0,179	0,949	0,587	0,158	0,915	0,216
Pmean_9_PO_50	0,146	0,946	0,545	0,109	0,972	0,916
JumpHeight_27_PO_50	0,100	0,968	0,866	0,233	0,937	0,423
Vmean_27_PO_50	0,104	0,973	0,926	0,249	0,928	0,321
Fmean_27_PO_50	0,109	0,957	0,703	0,128	0,968	0,863
Pmean_27_PO_50	0,142	0,952	0,627	0,125	0,964	0,811

Tabela 4. Wyniki testu jednorodności wariancji Levene'a w grupie zawodników i grupie kontrolnej

	Zawodnicy						Gr. Kontrolna					
	SS Efekt	MS Efekt	SS Błąd	MS Błąd	F	p	SS Efekt	MS Efekt	SS Błąd	MS Błąd	F	p
JumpHeight_0	0,00	0,00	0	0,00	3,410	0,078	0,00	0,00	0,0	0,00	0,462	0,503
Vmean_0	0,01	0,01	0	0,00	3,662	0,069	0,00	0,00	0,1	0,00	0,741	0,398
Fmean_0	3853	3853	627455	28521	0,135	0,717	277	277	217554	9065	0,031	0,863
Pmean_0	12667	12667	1700585	77299	0,164	0,690	64	64	724493	30187	0,002	0,964
JumpHeight_9	0,00	0,00	0	0,00	0,391	0,538	0,00	0,00	0,0	0,00	0,053	0,819
Vmean_9	0,00	0,00	0	0,00	0,738	0,400	0,00	0,00	0,1	0,00	0,278	0,603
Fmean_9	18833	18833	709741	32261	0,584	0,453	117	117	220454	9186	0,013	0,911
Pmean_9	50136	50136	1820223	82737	0,606	0,445	681	681	602349	25098	0,027	0,871
JumpHeight_27	0,00	0,00	0	0,00	0,066	0,799	0,00	0,00	0,0	0,00	0,005	0,943
Vmean_27	0,00	0,00	0	0,00	0,004	0,952	0,00	0,00	0,1	0,00	0,082	0,776
Fmean_27	2232	2232	666432	30292	0,074	0,789	11593	11593	325535	13564	0,855	0,364
Pmean_27	64754	64754	1716314	78014	0,830	0,372	21420	21420	754495	31437	0,681	0,417
JumpHeight_0_50	0,00	0,00	0	0,00	1,922	0,180	0,00	0,00	0,0	0,00	0,015	0,904
Vmean_0_50	0,01	0,01	0	0,00	2,455	0,131	0,00	0,00	0,1	0,01	0,000	0,994
Fmean_0_50	3658	3658	430072	19549	0,187	0,670	7114	7114	248483	10353	0,687	0,415
Pmean_0_50	5903	5903	1190096	54095	0,109	0,744	14204	14204	701696	29237	0,486	0,493
JumpHeight_9_50	0,00	0,00	0	0,00	1,430	0,244	0,00	0,00	0,0	0,00	0,194	0,664
Vmean_9_50	0,01	0,01	0	0,00	2,807	0,108	0,00	0,00	0,1	0,00	0,536	0,471
Fmean_9_50	13347	13347	481968	21908	0,609	0,443	406	406	279208	11634	0,035	0,853
Pmean_9_50	27156	27156	1191004	54137	0,502	0,486	1161	1161	690583	28774	0,040	0,843
JumpHeight_27_50	0	0	0	0	0,232	0,635	0,00	0,00	0,0	0,00	0,001	0,982
Vmean_27_50	0,00	0,00	0	0,00	0,001	0,974	0,00	0,00	0,1	0,00	0,112	0,740
Fmean_27_50	1685	1685	593680	26985	0,062	0,805	1,70	1,70	337936	14081	0,000	0,991
Pmean_27_50	20834	20834	1117756	50807	0,410	0,529	258,17	258	906865	37786	0,007	0,935

Streszczenie

Sukces w rywalizacji sportowej warunkowany jest szeregiem czynników, które zawsze występują jako kompleks. Czynniki te pozostają nieustannie we wzajemnej relacji i tak np. na każdą czynność w walce sportowej składają się zdolności kondycyjne, zdolności koordynacyjne oraz czynniki wolicjonalne. Celem podjętej pracy było określenie wpływu wysiłku fizycznego i wysiłku submaksymalnego wyskoku na zmianę profilu siłowo-szybkościowego oraz wartości parametrów pracy mięśni. Dzięki zastosowaniu metody regresji liniowej możliwe było stworzenie indywidualnych i grupowych profili zależności siły i szybkości oraz określenie maksymalnych parametrów pracy mięśniowej tj. F_0 i V_0 . Ponadto zbadano zmianę tych profili pod wpływem wysiłku fizycznego, który rozpatrywany był w pracy dwupłaszczyznowo: jako wysiłek prowadzący do zmian zmęczeniowych oraz wysiłek jako zadanie submaksymalne zakładające wykonanie wyskoku pionowego na 50% maksymalnych możliwości.

W badaniach uczestniczyło 12 zawodników klubu siatkarskiego MKS Będzin (wiek $17,5 \pm 0,52$, wysokość ciała $188,1 \pm 5,8$, masa ciała $79,6 \pm 10,2$) oraz 12 studentów wychowania fizycznego (wiek $22,15 \pm 1,86$, wysokość ciała $179 \pm 5,59$, masa ciała $74,08 \pm 7,79$). Zadaniem badanych było wykonanie wyskoków pionowych (CMJ) bez zamachu ramion przed protokołem wysiłkowym i bezpośrednio po jego zakończeniu na maksymalną wysokość oraz na submaksymalną wysokość (50% maksymalnych możliwości). Do prawidłowego wyznaczenia i oceny profilu siłowo-szybkościowego dla każdego z warunków (przed i po wysiłku fizycznym) konieczne było wykonanie po 9 skoków, w tym 6 z dodatkowym obciążeniem (9 kg i 27 kg) w każdym warunku.

W celu uzyskania niezbędnych do analizy parametrów siłowo szybkościowych wykorzystano platformę dynamograficzną oraz specjalnie skonstruowaną instalację stabilizującą badanego w pozycji półprzysiadu. W trakcie badania uczestnicy byli poinstruowani aby stanąć na platformie dynamograficznej w pozycji półprzysiadu i po odpowiednim dostosowaniu instalacji wykonać wyprost kończyn dolnych oraz całego ciała. Ze względu na zastosowane ograniczenie ruchu zadanie to w efekcie wymuszało skurcz zaangażowanych mięśni w warunkach izometrycznych. Generowana siła była analizowana w czasie wykonania ćwiczenia, a jej spadek o 50% przez 7 kolejnych sekund względem maksymalnych wartości wyznaczał punkt krytyczny i stanowił o zakończeniu protokołu zmęczenia oraz przejściu do protokołu badawczego.

Wyniki uzyskane w badaniu wskazują na brak różnic w profilu siłowo-szybkościowym w badanych grupach zarówno podczas wyskoku maksymalnego jak i submaksymalnego. Jednocześnie, dane empiryczne wykazały wyższe wartościach F_0 i V_0 w grupie siatkarzy uzyskane w podczas wyskoków maksymalnych. Ponadto oceniany wpływ wysiłku fizycznego o charakterze izometrycznym na zmianę współczynnika różnicowania nie wykazał istotnych statystycznie zmian w obu badanych grupach. Zbadano również możliwość wykorzystania profilu siłowo szybkościowego do oceny mocy maksymalnej w wyskoku maksymalnym, uzyskane wyniki wykazały istotne różnice między mocą rzeczywistą, rejestrowaną na platformie dynamograficznej a tą otrzymaną z wykorzystaniem profilu siłowo szybkościowego.

Wyższe parametry pracy mięśniowej spowodowane są reżimem treningowym jakiemu poddawani są siatkarze. Natomiast brak różnic współczynnika różnicowania po protokole wysiłku może być spowodowany intensywnością wysiłku, który nie wywołał na tyle dużych zmian w ustroju aby zaburzyć jakość kontroli w kontekście kinestetycznego różnicowania.

Summary

Success in sports competition is conditioned by a number of factors that always appear as a complex. These factors are constantly in mutual relation, and so, for example, every activity in a sports fight consists of fitness conditioning, coordination abilities and volitional factors. The aim of the study was to investigate the influence of physical effort and physical effort of submaximal jump on force-velocity profiles in vertical jump in young volleyball players. Thanks to the use of the linear regression method, it was possible to create individual and group profiles of the relationship between force and velocity, and to determine the maximum parameters of muscle work, ie. F_0 and V_0 . Moreover, the change of these profiles under the influence of physical effort was examined, which in the presented work was considered on two levels: as an effort leading to fatigue changes and effort as a submaximal task assuming performing a vertical jump at 50% of the maximum capacity.

The study involved 12 players of the MKS Będzin volleyball club (age 17.5 ± 0.52 , body height 188.1 ± 5.8 , body weight 79.6 ± 10.2) and 12 physical education students (age 22.15 ± 1.86 , body height 179 ± 5.59 , body weight 74.08 ± 7.79). The participants' task was to perform vertical jumps (CMJ) without arm swing before and immediately after the exercise protocol to the maximum height and submaximal height (50% of the maximum capacity). For the correct determination and evaluation of the force-velocity profile for each of the conditions (before and after physical effort), it was necessary to perform 9 jumps, including 6 with additional load (9 kg and 27 kg) in each condition.

In order to obtain the necessary force-velocity parameters for the analysis, a force platform and a specially constructed stabilization system were used for the subject in the semi-squat position. During the study, the participants were instructed to stand on the force platform in a semi-squat position and, after appropriate adjustment of the installation, to extend the lower limbs and the entire body. Due to the applied limitation of movement, this task in effect forced contraction of the involved muscles under isometric conditions. The generated force was analyzed during the exercise, and its decrease by 50% for 7 consecutive seconds from the maximum values determined the critical point and determined the end of the fatigue protocol, which was followed by the transition to the research protocol.

The results obtained in the study indicate no differences in the force-velocity profiles in the studied groups, both during maximum and submaximal jumps. At the same time,

empirical data showed higher values of F_0 and V_0 in the group of volleyball players obtained during maximum jumps. Moreover, the assessed influence of isometric exercise on the change of the differentiation coefficient did not show any statistically significant changes in both studied groups. The possibility of using the force-velocity profile to assess the maximum power in maximum CMJ was also investigated. The obtained power profile results were significantly smaller than the real power recorded on the force platform.

Higher parameters of muscle work are caused by the training regime to which volleyball players are subjected. On the other hand, the lack of differences in the differentiation coefficient after the exercise protocol may be caused by the intensity of the effort, which did not cause large enough changes in the system to disturb the quality of control in the context of kinesthetic differentiation.