

Justyna Dydek, Krzysztof Przednowek

Instytut Nauk o Kulturze Fizycznej, Kolegium Nauk Medycznych, Uniwersytet Rzeszowski

Charakterystyka spadku mocy kończyn dolnych po wysiłku anaerobowym w grupie studentów wychowania fizycznego

Characteristics of lower limb power decrease after anaerobic exercise in a group of physical education students

Streszczenie. Celem badań była ocena charakterystyki spadku mocy kończyn dolnych po wysiłku anaerobowym w grupie 19 studentów wychowania fizycznego. Wysiłek anaerobowy zrealizowano testem Wingate. Maksymalną moc (MPO) kończyn dolnych zmierzono za pomocą optycznego systemu pomiarowego OptoJump Next w 2 wyskokach pionowych: CMJ bez zamachu (CMJ BZ) oraz CMJ z zamachem (CMJ ZZ). Dodatkowo oznaczono stężenie kwasu mlekowego we krwi w spoczynku oraz w 4', 8' i 30' po wysiłku. Analiza wykazała, że test Wingate wpłynął na obniżenie poziomu MPO, co było zdeterminowane w głównej mierze powysiłkowym przyrostem stężenia mleczanu we krwi. Odnotowano również występowanie zależności pomiędzy spadkiem mocy kończyn dolnych a wybranymi wskaźnikami testu Wingate.

Słowa kluczowe: spadek mocy, wysiłek anaerobowy, skoczność

Abstract. The aim of this study was to evaluate the characteristics of lower limb power loss after anaerobic exercise in a group of 19 physical education students. The anaerobic effort was performed with the Wingate test. Maximal power output (MPO) of the lower limbs was measured using the OptoJump Next optical measurement system in 2 vertical jumps: CMJ without sweep (CMJ BZ) and CMJ with sweep (CMJ ZZ). Additionally, blood lactic acid concentrations were determined at rest and at 4', 8', and 30' after exercise. The analysis showed that the Wingate test decreased MPO levels, which was mainly determined by the post-exercise increase in blood lactate concentration. There was also a correlation between the decrease in lower limb power and selected indices of the Wingate test.

Keywords: power decrease, anaerobic exercise, jumpiness

Wstęp

Zdolność mięśnia do wytwarzania siły w jak najkrótszej jednostce czasu określana jest mianem mocy mięśniowej. Umiejętność generowania wysokich wartości mocy podczas intensywnych wysiłków, jak również utrzymanie tego

poziomu, stanowi obecnie fundament większości dyscyplin sportowych [16]. Do pomiaru możliwości zawodników w zakresie wyżej wymienionych zdolności stosuje się różnego rodzaju testy, w których ocenie poddaje się wskaźniki takie jak: moc maksymalna, czas jej osiągnięcia, czas jej utrzymania czy spadek wartości tej mocy. Parametr spadku mocy stanowi cenne źródło informacji w zakresie zachodzących procesów zmęczenia badanej jednostki. Dane te odgrywają ważną rolę zwłaszcza w dyscyplinach, w których występują częste przyśpieszenia lub zmiany kierunków poruszania się [6].

W czasie wysiłków krótkotrwałych i intensywnych zakwaszenie mięśni oraz utrata zasobów ATP i fosfokreatyny są głównymi przyczynami zmęczenia. Do wyraźnego zmęczenia może dojść już po dziesięciosekundowym wysiłku maksymalnym. Jeśli chodzi o wysiłki długotrwałe, zmęczenie jest skutkiem wzrostu wewnętrznej temperatury organizmu, odwodnienia oraz utraty elektrolitów i zasobów energetycznych w postaci glikogenu i glukozy [9]. Procentowy udział poszczególnych włókien w mięśniach, sprawność enzymów metabolicznych, hormonów czy spadek ciśnienia atmosferycznego również nie są obojętne. Udział danych czynników w rozwoju zmęczenia jest różny i zależy od intensywności, rodzaju oraz czasu trwania wysiłku [15].

Celem badań, podczas których zmierzono wartość mocy przed i po wykonanej próbie wysiłkowej w grupie studentów wychowania fizycznego Uniwersytetu Rzeszowskiego, była ocena charakterystyki spadku mocy kończyn dolnych po wysiłku anaerobowym. Dodatkowo dokonano pomiaru stężenia kwasu mlekowego we krwi. Otrzymane wyniki poddano analizie korelacyjnej ze zdefiniowanym spadkiem mocy.

Materiał i metody

Grupę badawczą stanowiło 19 mężczyzn, studentów wychowania fizycznego Uniwersytetu Rzeszowskiego, jednocześnie czynnych sportowców. Przed rozpoczęciem badań, uczestników poinformowano o przebiegu oraz celowości prowadzonych pomiarów, które przeprowadzono w Pracowni Diagnostyki w Treningu Sportowym i Zdrowotnym Instytutu Nauk o Kulturze Fizycznej, Kolegium Nauk Medycznych Uniwersytetu Rzeszowskiego. Średnia wysokość ciała badanych studentów wynosiła ok. 176 cm, a średnia masa ciała 74,90 kg. Przeciętna wartość wskaźnika BMI to 24,22, co zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia interpretuje się jako wagę prawidłową [11]. Średni poziom masy mięśniowej studentów oscylował wokół 61 kg, zaś średnia wartość masy tkanki tłuszczowej osiągała wartość 14 kg. Całkowita zawartość wody w organizmie stanowiła ponad połowę wagi przeciętnego badanego i wynosiła 43,78 kg.

Tabela 1. Charakterystyka grupy badanej (N = 19)

Zmienna	\bar{x}	SD	Min	Max	V
AGE (lata)	22,89	1,49	21,00	26,00	6,49
HEIGHT (cm)	175,74	6,45	164,00	187,00	3,67
WEIGHT (kg)	74,90	10,94	56,60	94,60	14,61
BMI (kg/m ²)	24,22	3,05	19,90	29,80	12,59
FATP (kg)	13,83	5,30	4,60	26,10	38,32
PMM (kg)	60,99	6,91	43,80	72,00	11,32
BONEM (kg)	3,19	0,35	2,30	3,70	10,92
FFM (kg)	64,18	7,25	46,10	75,70	11,30
TBW (kg)	43,78	4,75	30,20	51,20	10,85

\bar{x} – wartość średnia; Min – wartość najmniejsza; Max – wartość największa; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności; AGE – wiek; HEIGHT – wysokość ciała; WEIGHT – masa ciała; BMI – body mass index; FATP – masa tkanki tłuszczowej; PMM – masa mięśni; BONEM – zmineralizowana masa kości; FFM – masa tkanki beztłuszczowej; TBW – całkowita zawartość wody

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Narzędziem badawczym zastosowanym do pomiaru komponentów składu ciała był segmentowy analizator Tanita DC-360S. Przed rozpoczęciem badania dokonano pomiaru wysokości ciała antropometrem. Pomiaru skoczności, która została przeliczona na moc z wykorzystaniem wzoru Sayersa [4]:

$$\text{PAPw (Watts)} = 60.7 \cdot \text{wysokość wyskoku (cm)} + 45.3 \cdot \text{masa ciała (kg)} - 2055,$$

dokonano za pomocą optycznego systemu pomiarowego OptoJump Next składającego się z listwy nadawczo-odbiorczej wyposażonej w diody LED. Pomiary przeprowadzono dwukrotnie: przed testem Wingate oraz bezpośrednio po nim. W badaniu wykorzystano dwa rodzaje wyskoków pionowych: CMJ bez zamachu oraz CMJ z zamachem. Podczas wykonywania wyskoku CMJ BZ pozycją wyjściową badanych była pozycja stojąca z rękami na biodrach. Zadaniem studentów było jak najszybsze ugięcie kolan do około 90° i wykonanie jak najwyższego wyskoku pionowego. Jeśli chodzi o CMJ ZZ, badanym polecono, aby w trakcie wykonywania wyskoku dołożyli swobodny zamach ramionami. Analizie poddano zebrane wartości osiąganej mocy kończyn dolnych badanych studentów. Na potrzeby niniejszej pracy zdefiniowano wskaźnik spadku **mocy** obliczony ze wzoru: $\Delta = P_1 - P_2$, gdzie P_1 stanowi wartość mocy uzyskaną przed wysiłkiem anaerobowym, a P_2 moc uzyskaną po próbie wysiłkowej. Wysiłek anaerobowy wykonywano za pomocą testu Wingate [11]. Polega on na wykonywaniu 30-sekundowego wysiłku o najwyższej intensywności na cykloergo-

metrze rowerowym przy dobranej wcześniej wartości oporu zewnętrznego zależnej od masy ciała badanego. Przyjmuje się, że stanowi ona 7,5% masy ciała uczestnika [11]. W przeprowadzonym teście Wingate wykorzystano ergometr rowerowy Cyclus 2. Pomiaru poziomu stężenia mleczanu we krwi dokonano czterokrotnie: w spoczynku oraz w 4., 8. i 30. minucie po teście Wingate. Do badania użyto analizatora Biosen C-Line.

Uzyskane dane zostały poddane analizie statystycznej za pomocą programu Statistica 13. Następnie wyznaczono średnią arytmetyczną, wartość minimalną, wartość maksymalną, medianę, odchylenie standardowe oraz współczynnik zmienności. Obliczono również współczynnik korelacji r Pearsona na poziomie istotności $p < 0,05$. Istotne różnice pomiarowe pomiędzy grupami określono za pomocą testu u Manna Whitneya.



Ryc. 1. Stanowisko pomiaru a) testu Wingate (źródło: www.cyclus2.com), b) zdolności skocznościowych (źródło: www.optojump.com)

Wyniki badań

Zestawione wartości poszczególnych wyskoków przed i po wysiłku anae-
robowym zestawiono w tabeli 2. Spadek mocy kończyn dolnych osiągał więk-
sze wartości w przypadku wyskoku pionowego CMJ ZZ, gdzie różnica pomię-
dzy wartościami osiąganymi przed i po wykonanym wysiłku beztlenowym
stanowiła wartość ok. 873 W. W przypadku wyskoku pionowego CMJ BZ spa-
dek mocy był nieco mniejszy i wynosił 760 W.

W tabeli 3. zestawiono wyniki wybranych wskaźników testu Wingate.
Średnia wartość mocy minimalnej wynosiła 93,21 W, zaś średnia wartość mocy
maksymalnej była ok. dziesięć razy wyższa. Studenci wychowania fizycznego
potrzebowali średnio 4,53 s na uzyskanie mocy maksymalnej o średniej warto-
ści 848,37 W, natomiast przeciętna osiągnięta moc końcowa była ok. dwukrotnie
niższa. Średnia wartość mocy anaerobowej stanowiła 11,34 W/kg, natomiast
średnia pojemność anaerobowa – 8,91 W/kg.

Tabela 2. Charakterystyka liczbowa skoczności (N = 19)

	Przed					Po						
	\bar{x}	SD	Min	Max	V	\bar{x}	SD	Min	Max	V	Δ	P
CMJ BZ (cm)	32,5	6,0	23,7	46,8	18,6	19,9	4,28	13,20	27,3	21,5	–	0,0001
CMJ ZZ (cm)	36,7	7,5	27,9	54,7	20,5	22,3	4,82	14,4	31,9	21,6	–	0,0001
CMJ BZ (W)	3310	619	1948	4138	18,7	2550	509,5	1541	3433	19,9	760,0	0,0001
CMJ ZZ (W)	3564	640	2203	4618	18,0	2691	520,6	1662	3658	19,3	873,1	0,0001

\bar{x} – wartość średnia; Min – wartość najmniejsza; Max – wartość największa; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności; CMJ BZ – wyskok pionowy bez zamachu; CMJ ZZ – wyskok pionowy z zamachem; Δ – wskaźnik spadku mocy

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Tabela 3. Charakterystyka liczbowa parametrów testu Wingate (N = 19)

Zmienna	\bar{x}	SD	Min	Max	V
Moc minimalna (W)	93,21	2,82	90,00	98,00	3,03
Moc maksymalna (W)	848,42	136,14	520,00	1003,00	16,05
Moc średnia (W)	666,11	97,13	432,00	812,00	14,58
Czas osiągnięcia mocy maksymalnej (s)	4,53	0,82	3,00	6,10	18,17
Moc końcowa (W)	471,36	72,28	334,50	580,20	15,34
Moc anaerobowa (W/kg)	11,34	1,15	9,20	14,20	10,11
Pojemność anaerobowa (W/kg)	8,91	0,78	7,60	10,70	8,73
Indeks zmęczenia (W/kg)	14,80	3,98	7,00	22,10	26,86

\bar{x} – wartość średnia; Min – wartość najmniejsza; Max – wartość największa; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Analizę korelacji spadku mocy pomiędzy wyskokami pionowymi CMJ a wskaźnikami testu Wingate przedstawia tabela 4. Istotna statystycznie zależność pomiędzy spadkiem mocy w CMJ BZ występuje jedynie w powiązaniu z uzyskaną mocą minimalną, gdzie korelacja ta jest ujemna (-0,41). Pozostałe parametry testu Wingate nie wykazały korelacji istotnych statystycznie ze spadkiem mocy kończyn dolnych w wyskoku pionowym CMJ BZ. Analiza zależności między spadkiem mocy kończyn dolnych w wyskoku CMJ ZZ i parametrami testu Wingate wykazała natomiast występowanie trzech istotnych statystycznie korelacji na poziomie średnim. Pierwsza z nich dotyczyła dodatniej zależności pomiędzy obrotami maksymalnymi a spadkiem mocy (0,48) –

wraz ze wzrostem obrotów maksymalnych wzrastała wartość spadku mocy. Dodatnią zależność wykazała także druga korelacja odnosząca się do prędkości maksymalnej (0,48). W tym przypadku wzrost wartości prędkości maksymalnej powodował większą wartość spadku mocy. Trzecia statystycznie istotna zależność pomiędzy spadkiem mocy w CMJ z zamachem i uzyskaną mocą anaerobową również była dodatnia (0,54) – wraz ze wzrostem wartości mocy anaerobowej rosła wartość spadku mocy. Ponadto zależność ta w stosunku do pozostałych okazała się najsilniejsza. Wszystkie pozostałe parametry testu Wingate nie wykazały statystycznie istotnych korelacji ze spadkiem mocy w wysoku pionowym CMJ z zamachem, a w przypadku wskaźnika czasu osiągnięcia mocy maksymalnej powiązania nie zaobserwowano (-0,02).

Tabela 4. Charakterystyka zależności pomiędzy parametrami Wingate a skocznością (N = 19)

Zmienna	Korelacje, oznaczono $p < 0,05$	
	Δ CMJ BZ	Δ CMJ ZZ
Moc minimalna	-0,41*	-0,25
Moc maksymalna	0,34	0,35
Moc średnia	0,28	0,20
Siła pedałowania minimalna	0,05	0,23
Siła pedałowania maksymalna	0,19	0,15
Siła pedałowania średnia	0,19	0,15
Obroty minimalne	0,17	0,17
Obroty maksymalne	0,39	0,48*
Obroty średnie	0,19	0,13
Prędkość minimalna	0,16	0,17
Prędkość maksymalna	0,38	0,48*
Prędkość średnia	0,18	0,13
Czas osiągnięcia mocy maksymalnej	-0,05	-0,02
Moc końcowa	0,36	0,32
Moc anaerobowa	0,29	0,54*
Pojemność anaerobowa	0,14	0,30
Indeks zmęczenia	0,20	0,25

* – istotność statystyczna na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Δ – wskaźnik spadku mocy; CMJ BZ – wyskok pionowy bez zamachu; CMJ ZZ – wyskok pionowy z zamachem

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Wartości stężenia kwasu mlekowego (LA) we krwi zostały zebrane i przedstawione wraz z ich statystykami w tabeli 5. W grupie badanych osób średnie spoczynkowe stężenie LA wynosiło 1,76 mmol/l, natomiast najwyższa średnia wartość tego wskaźnika została odnotowana w 8' po zakończonej pracy (16,60 mmol/l). Pomiary LA w 30' po zakończonym wysiłku przyjmowały przeciętnie wartości na poziomie 8,13 mmol/l.

Tabela 5. Charakterystyka liczbowa LA (N = 19)

Zmienna	\bar{x}	SD	Min	Max	V	P
LA SP (mmol/l)	1,76	0,69	0,81	3,15	39,21	0,0001
LA 4' (mmol/l)	15,82	3,14	9,92	22,85	19,85	0,0001
LA 8' (mmol/l)	16,60	2,60	10,54	22,37	15,64	0,0001
LA 30' (mmol/l)	8,13	2,35	4,59	12,34	28,91	0,0001

\bar{x} – wartość średnia; Min – wartość najmniejsza; Max – wartość największa; SD – odchylenie standardowe; V – współczynnik zmienności; LA SP – spoczynkowa wartość mleczanu; LA 4' – powysiłkowa wartość mleczanu w 4. min; LA 8' – powysiłkowa wartość mleczanu w 8. min; LA 30' – powysiłkowa wartość mleczanu w 30. min

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Stwierdzono występowanie dodatnich, istotnych statystycznie korelacji pomiędzy powysiłkowym przyrostem stężenia LA we krwi a uzyskanymi wartościami spadku mocy kończyn dolnych w obydwu wyskokach pionowych CMJ. Analizując siłę poszczególnych związków, można stwierdzić, że największy wpływ na spadek mocy kończyn dolnych ma wartość stężenia LA odnotowana w 8' po zakończonym wysiłku beztlenowym (0,67 CMJ BZ, 0,83 CMJ ZZ) – im wyższe stężenie, tym większy spadek mocy. Zależność ta jest silniejsza w przypadku spadku mocy w wyskoku pionowym CMJ ZZ, gdzie siła związku korelacyjnego występuje na poziomie silnym (0,83). W pozostałych przypadkach istotność statystyczna korelacji utrzymuje się na poziomie średnim. Zależności istotnych statystycznie nie odnotowano pomiędzy przedwysiłkowymi wartościami stężenia LA a spadkiem mocy kończyn dolnych w obydwu wyskokach pionowych – CMJ BZ (-0,18) oraz CMJ ZZ (-0,19).

Tabela 6. Charakterystyka zależności pomiędzy wartościami LA a skocznością (N = 19)

Zmienna	Korelacje, oznaczono $p < 0,05$	
	Δ CMJ BZ	Δ CMJ ZZ
LA SP	-0,18	-0,19
LA 4'	0,47*	0,65*
LA 8'	0,67*	0,83*
LA 30'	0,60*	0,64*

* – istotność statystyczna na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Δ – wskaźnik spadku mocy; CMJ BZ – wyskok pionowy bez zamachu; CMJ ZZ – wyskok pionowy z zamachem ; LA SP – spoczynkowa wartość mleczanu; LA 4' – powysiłkowa wartość mleczanu w 4. min; LA 8' – powysiłkowa wartość mleczanu w 8. min; LA 30' – powysiłkowa wartość mleczanu w 30. min

Źródło: opracowanie własne na podstawie badań

Dyskusja

Ćwiczenia kształtujące moc są istotną częścią procesu treningowego niemal każdego zawodnika. Bardzo często element ten decyduje o wygranej w danych rozgrywkach sportowych. Badania wysiłku anaerobowego wykonane na ergometrze rowerowym Cyclus 2 pomogły pozyskać wiele wskaźników istotnych w ocenie wydolności beztlenowej. Uzyskane dane dostarczyły informacji m.in. o ilościach zgromadzonej fosfokreatyny, a także predyspozycjach zawodnika w aspekcie dostarczania energii na drodze glikolizy beztlenowej [7]. Średnia wartość maksymalnej mocy kończyn dolnych, jaką osiągnęli badani studenci, stanowiła 848,42 W przy średnim czasie jej uzyskania 4,53 s. Porównując wartości powyższych parametrów testu Wingate z wartościami osiąganymi przez zawodowych tenisistów ziemnych, zauważono, że badana grupa osiągała przeciętnie wyższe wartości mocy maksymalnej niż zawodnicy tenisa ziemnego [13]. Studenci potrzebowali jednak więcej czasu na uzyskanie maksymalnej wartości tej mocy. Podobna sytuacja wystąpiła po zestawieniu wartości parametrów badanych osób z wartościami uzyskanymi przez piłkarzy IV ligi [3]. Studenci wychowania fizycznego osiągnęli wyższe wartości mocy maksymalnej w porównaniu z piłkarzami. Ponadto cechowali się krótszym czasem jej osiągnięcia [3]. Wysoki poziom generowanej mocy maksymalnej przy niskich wartościach czasu jej uzyskania świadczy o efektywności przebiegających procesów fosfagenowych [17]. Uzyskane wartości mocy maksymalnej kończyn dolnych badanych studentów wskazują zatem na dobry poziom zdolności beztlenowo-bezmleczanowych [6].

Moc kończyn dolnych i skoczność zmierzono za pomocą optycznego systemu pomiarowego Optojump Next w dwóch wyskokach pionowych: CMJ bez zamachu (z ramionami opartymi na biodrach) oraz CMJ z zamachem kończyn górnych. Badana grupa charakteryzowała się zbliżonymi wartościami obydwu wyskoków, jednak lepsze wyniki osiągnęto w próbie z zamachem (3310,08 W vs. 3564,06 W). Odmienność tych wartości ma swoje źródło w rodzaju i technice wykonywanych wyskoków, co potwierdzają badania Sánchez-Sixto [14].

Po zestawieniu wartości skoczności badanych studentów uzyskanych w wyskoku pionowym CMJ ZZ z wynikami zawodowych siatkarzy i koszykarzy zauważono, że znaczącą przewagę wykazywały wyżej wymienione grupy sportowców [10]. Różnica pomiędzy wartościami wyskoku wynosiła odpowiednio 16,33 cm na korzyść siatkarzy oraz 24,33 cm na korzyść koszykarzy. Dominacja grup opisanych w badaniach Mazur-Różyckiej może wynikać jednak ze specyfiki uprawianych sportów, w których wyskoki są istotną częścią zbioru czynności ruchowych wykorzystywanych podczas gry [10].

Analiza spadku mocy kończyn dolnych w wysoku pionowym CMJ BZ w powiązaniu z parametrami testu Wingate wykazała występowanie istotnej statystycznie korelacji z osiąganą mocą minimalną (-0,48), natomiast w przypadku wysoku pionowego CMJ ZZ odnotowano występowanie trzech istotnych statystycznie korelacji na poziomie średnim. Pierwsza z nich dotyczyła dodatniej zależności (0,48) pomiędzy spadkiem mocy kończyn dolnych w wysoku pionowym CMJ z zamachem a ilością uzyskanych obrotów maksymalnych – ich wyższa wartość determinowała większy spadek mocy kończyn dolnych. Identyczną zależność wykazała także druga korelacja (0,48) odnosząca się do prędkości maksymalnej. Wraz ze wzrostem prędkości maksymalnej spadek mocy kończyn dolnych w wysoku pionowym CMJ z zamachem był większy. Trzecia, dodatnia, statystycznie istotna zależność (0,54) dotyczyła powiązania z wartością uzyskanej mocy anaerobowej. Korelacja ta w stosunku do pozostałych była najsilniejsza. W tym przypadku wzrost wartości mocy anaerobowej determinował większą wartość spadku kończyn dolnych. Wysokie wartości obrotów maksymalnych, prędkości maksymalnej oraz mocy anaerobowej charakteryzują jednostki o dużym potencjale szybkościowym [6]. Osiągnięcie wysokich wartości tych cech powiązane jest jednak z szybszym zużyciem substratów energetycznych, na co wskazuje mniejsza odnotowana wartość mocy uzyskana w wyskokach pionowych bezpośrednio po teście Wingate. Pozostałe parametry testu Wingate nie wykazały statystycznie istotnych korelacji ze spadkiem mocy kończyn dolnych. Co więcej, nie odnotowano związku pomiędzy wskaźnikiem czasu osiągnięcia mocy maksymalnej a spadkiem mocy kończyn dolnych w wysoku pionowym CMJ z zamachem (-0,02).

Czas trwania wysiłku podczas intensywnej pracy mięśniowej determinuje sposób pozyskiwania energii [5]. Przeprowadzone badania wskazują, że zastosowany test anaerobowy spowodował znaczący wzrost stężenia mleczanu we krwi studentów – powysiłkowa wartość LA we krwi badanych przekraczała poziom 15 mmol/l. Świadczy to o wykorzystywaniu procesów glikolizy beztlenowej w procesie wytwarzania energii potrzebnej do kontynuowania pracy [1]. Wysoki powysiłkowy przyrost stężenia kwasu mlekowego we krwi w wysiłkach o charakterze maksymalnym informuje o wysokim poziomie wytrzymałości beztlenowej [6]. Liniowy przyrost stężenia kwasu mlekowego badanych zaobserwowano do 8' po zakończonym wysiłku beztlenowym, podczas gdy w badaniach Omelko (2020) stężenie LA u zawodników biegu na 350 m rosło do 3' po zakończonym wysiłku [12]. Sytuacja ta wskazuje na skuteczniejsze tempo utylizacji mleczanu w przypadku badanych lekkoatletów. Warto wspomnieć, że zawodnicy badani przez Omelkę (2020) odnosili sukcesy na arenie międzynarodowej, przez co reprezentowany przez nich poziom wytrenowania

był bardzo wysoki. W tej samej grupie lekkoatletów przedwysiłkowa wartość stężenia kwasu mlekowego we krwi była podobna do wartości uzyskanej przez badanych studentów, gdzie 1,64 mmol/l osiągnęli zawodnicy biegu na 350 m, a poziom 1,76 mmol/l studenci kierunku wychowania fizycznego.

W wyniku przeprowadzonej analizy korelacji stwierdzono występowanie dodatnich, istotnych statystycznie zależności pomiędzy powysiłkowym przyrostem stężenia kwasu mlekowego we krwi a uzyskanymi wartościami spadku mocy kończyn dolnych w obydwu wyskokach pionowych CMJ. Korelacji istotnych statystycznie nie odnotowano natomiast w powiązaniu z przedwysiłkowymi wartościami mleczanu (-0,18 CMJ BZ; -0,19 CMJ ZZ). Wyniki badań sugerują, że największy wpływ na spadek mocy kończyn dolnych ma wartość stężenia LA mierzona w 8. minucie po zakończonym wysiłku (0,83) – im wyższe stężenie, tym większy odnotowany spadek mocy. Zależność ta okazała się być silniejszym determinantem w przypadku spadku mocy kończyn dolnych w wyskoku pionowym CMJ z zamachem, w którym to siła związku korelacyjnego występuje na poziomie silnym (0,67 CMJ BZ; 0,83 CMJ ZZ). W pozostałych zależnościach istotność statystyczna korelacji z powysiłkowym przyrostem wartości LA utrzymuje się na poziomie średnim.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- a) Wysiłek anaerobowy wpłynął znacząco na obniżenie wartości mocy kończyn dolnych.
- b) Analiza korelacji spadku mocy kończyn dolnych w wyskoku pionowym CMJ z zamachem i wskaźnikami testu Wingate nie wykazała powiązania ze wskaźnikiem czasu osiągnięcia mocy maksymalnej. Odnotowano natomiast występowanie trzech zależności na poziomie istotnym statystycznie: ze wzrostem obrotów maksymalnych, z prędkością maksymalną oraz mocą anaerobową.
- c) Istotna statystycznie korelacja pomiędzy spadkiem mocy kończyn dolnych w wyskoku pionowym CMJ bez zamachu występuje jedynie w powiązaniu z uzyskaną mocą minimalną testu Wingate, gdzie zależność ta jest ujemna. Pozostałe parametry próby beztlenowej nie wykazały zależności ze spadkiem mocy kończyn dolnych na poziomie istotnym statystycznie.
- d) Wartość powysiłkowego stężenia mleczanu we krwi w porównaniu z pozostałymi badanymi zależnościami determinowała spadek mocy kończyn dolnych.

Bibliografia

1. Astrand P.O., Rodahl K., Dahl K., Stra S.B. (2003). Test book of work physiology. Physiological Bases of Exercise. *Human Kinetics*.
2. Bober T., Rutkowska-Kucharska A., Pietraszewski B. (2007). Ćwiczenia plyometryczne – charakterystyka biomechaniczna, wskaźniki, zastosowania. *Sport Wyczynowy* (7–9): 511–513.
3. Boraczyński T. (2007). Ocena wydolności beztlenowej piłkarzy nożnych IV ligi w oparciu o test Wingate (WanT). *Medicina Sportiva Practica* 8 (3): 86–88.
4. Canavan P.K. (2004). Evaluation of power prediction equations: peak vertical jumping power in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 36(9): 1589–1593.
5. Crewther B.C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute metabolic responses. *Sports Medicine* 36(1): 65–79.
6. Fortuna M. (2008). Podstawy kształtowania i kontroli zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej. Kolegium Karkonoskie w Jeleniej Górze, Jelenia Góra.
7. Jaafar H.R. (2014). Effects of load on Wingate test performances and reliability. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28(12): 3462–3468.
8. Laurent Jr. C.M., Meyers M.C., Robinson C.A., Green J.M. (2007). Cross-validation of the 20- versus 30-s Wingate anaerobic test. *Eur J Appl Physiol*, 100(6): 645–651.
9. Maciejczyk M. (2007). Zmęczenie: przyczyny, objawy, zapobieganie. *Acta Scientifica Academiae Ostroviensis*, 26: 18–27.
10. Mazur-Różycka J. (2017). Porównanie parametrów biomechanicznych uzyskanych podczas różnego rodzaju wyskoków pionowych u zawodników trenujących piłkę siatkową i koszykówkę. *Journal of Education* 7(7): 304–310.
11. Nuttall F.Q. (2015). Body mass index: obesity, BMI, and health: a critical review. *Nutrition Today*, 50(3): 117.
12. Omelko R. (2020). Kinematyka i stężenie mleczanu u biegaczy na 400m podejmujących zróżnicowane formy wytrzymałości specjalnej, Wrocław.
13. Podgórski T., Kowalczyk K. (2006). Zmiany w potencjale antyoksydacyjnym organizmu tenisistów ziemnych po wykonaniu testu Wingate'a. *Medycyna Sportowa*, 4(6), vol. 22: 215–220.
14. Sánchez-Sixto A.H. (2018). Larger countermovement increases the jump height of countermovement jump. *Sports* 6(4): 131.
15. Traczyk W.Z. (2016). Fizjologia człowieka w zarysie. Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
16. Trzaskoma Z. (2003). Maksymalna siła mięśniowa i moc maksymalna kobiet i mężczyzn uprawiających sport wyczynowo. Warszawa.
17. Wolański P., Zatoń M., Murawska-Ciałowicz E. (2016). The Influence of Different Types of Rest on Football Players' Ability to Repeat Phosphagen Exercise. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 13(1): 89–99.