

Krzysztof Buśko

Akademia Wychowania Fizycznego

Józefa Piłsudskiego

ANALIZA WPŁYWU  
PROGRAMÓW TRENINGU  
O RÓŻNEJ STRUKTURZE  
INTENSYWNOŚCI  
NA SIŁĘ I MOC MAKSYMALNĄ  
MIĘŚNI KOŃCZYN DOLNYCH  
CZŁOWIEKA

Warszawa 2006

**Komitet redakcyjny**

Przewodniczący

– Jerzy Kosiewicz

Sekretarz

– Tomasz Gabryś

Członkowie

– Krzysztof Klukowski

Andrzej Kosmol

Jerzy Nowocień

Anna Pawlikowska-Piechotka

**Studia i Monografie nr 109**

**ISBN-10: 83-89630-08-7**

**ISBN-13: 978-83-89630-08-7**

© Copyright by Akademia Wychowania Fizycznego

Wszystkie prawa zastrzeżone.

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

Redakcja i korekta techniczna – Joanna Kłyszejko

Projekt okładki – Waldemar Dorcz

Wydawnictwo AWF

Warszawa 2006

Wydanie I

Objętość 9,46 a.w.

Nakład 2000 egz. (druk w seriach)

Format B-5

Skład, łamanie, druk

Oficyna Drukarska – Jacek Chmielewski

01-142 Warszawa, ul. Sokołowska 12A

tel./fax: (0-22) 632 83 52

fax: (0-22) 631-49-40

## *Spis treści*

<b>1. Wstęp .....</b>	<b>7</b>
1.1. Przedstawienie problemu.....	7
1.1.1. Składowe obciążenia treningowego – metody pomiaru i oceny...8	
1.1.2. Wpływ składowych obciążenia treningowego na efekty potreningowe.....	10
1.2. Cele pracy.....	12
<b>2. Część I: Wpływ częstości pedałowania na sprawność mechaniczną człowieka w równoważnych wysiłkach o stałej mocy 250 W i w wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy .....</b>	<b>15</b>
2.1. Przedstawienie problemu.....	15
2.1.1. Ekonomiczna prędkość pedałowania w wysiłkach submaksymalnych .....	15
2.1.2. Optymalna prędkość pedałowania w wysiłkach maksymalnych...16	
2.1.3. Sprawność mechaniczna w wysiłkach maksymalnych i submaksymalnych .....	16
2.2. Cele, założenia i hipotezy .....	18
2.3. Materiał i metody .....	19
2.3.1. Materiał .....	20
2.3.2. Przebieg eksperymentu.....	20
2.3.3. Pomiar zużycia tlenu .....	21
2.3.4. Pomiar i obliczanie mocy maksymalnej, prędkości optymalnej, sprawności mechanicznej oraz prędkości ekonomicznej.....	22
2.3.5. Opracowanie statystyczne .....	24
2.4. Wyniki.....	24
2.5. Dyskusja .....	27
2.6. Podsumowanie i wnioski.....	33

<b>3. Część II: Wpływ treningu realizowanego wysiłkami maksymalnymi i równoważnymi wysiłkami o stałej mocy 250 W na siłę i moc mięśni kończyn dolnych.....</b>	<b>35</b>
3.1. Przedstawienie problemu.....	35
3.1.1. Zmiany biochemiczne i biomechaniczne zachodzące w mięśniach pod wpływem różnych metod treningowych.....	35
3.1.2. Zastosowanie cykloergometru w treningu siły i mocy kończyn dolnych.....	38
3.2. Cele, założenia, hipotezy.....	40
3.3. Materiał i metody.....	43
3.3.1. Materiał.....	44
3.3.2. Przebieg eksperymentu.....	44
3.3.3. Pomiar maksymalnych momentów sił mięśniowych w warunkach statyki.....	48
3.3.4. Pomiar mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej.....	51
3.3.5. Pomiar mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze.....	53
3.3.6. Oznaczanie stężenia kwasu mlekowego.....	54
3.3.7. Wyznaczanie charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych na cykloergometrze.....	55
3.3.8. Opracowanie statystyczne.....	56
3.4. Wyniki.....	57
3.4.1. Maksymalne momenty sił mięśniowych.....	57
3.4.2. Moc maksymalna, moc średnia i wysokość uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej.....	63
3.4.3. Moc maksymalna i moc średnia rozwijana podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze.....	70
3.4.4. Stężenie kwasu mlekowego.....	77
3.4.5. Charakterystyki siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych.....	79
3.4.6. Podsumowanie wyników II części pracy.....	87

---

3.5.	Dyskusja .....	90
3.5.1.	Maksymalne momenty sił mięśniowych .....	91
3.5.2.	Moc maksymalna, moc średnia i wysokość uniesienia środką masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej .....	97
3.5.3.	Charakterystyki siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych .....	102
3.5.4.	Moc średnia i moc maksymalna rozwijana podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze oraz stężenie kwasu mlekowego .....	108
3.6.	Podsumowanie i wnioski .....	114
<b>4.</b>	<b>Piśmiennictwo .....</b>	<b>121</b>
<b>5.</b>	<b>Wykaz skrótów .....</b>	<b>137</b>
<b>6.</b>	<b>Streszczenie .....</b>	<b>141</b>

## ***1. Wstęp***

### ***1.1. Przedstawienie problemu***

Sukces w wielu konkurencjach sportowych zależy od zdolności do rozwijania maksymalnej siły, mocy i szybkości rozumianych jako cechy sprawności fizycznej człowieka. Rozwój tych cech zależy od zastosowania odpowiednich metod i środków treningowych. Do głównych metod treningu cech sprawności fizycznej zalicza się metody: ciągłą, zmienną, interwałową i startową [315]. Wspólną ich cechą jest podział na składowe obciążenia, tj. objętość (pracę) i intensywność (moc), czas trwania wysiłku oraz czas i charakter przerw odpoczynkowych. Natomiast różnica między nimi polega na doborze wartości poszczególnych składowych tego obciążenia [124].

Trening fizyczny ma wpływ na zmiany procesów przystosowawczych organizmu do osiągnięcia najlepszej, pożądanej sprawności fizycznej człowieka. Sprawność fizyczna zależy od możliwości energetycznych i ich wykorzystania przez sprawny obieg procesów informacyjnych w naszym organizmie [124]. Według Fidelusa i wsp. [127] nie jest ważne, do jakich ruchów człowiek tę energię wykorzystuje. Wiadomo, że przyrost poziomu cech fizycznych (siły, szybkości, wytrzymałości) uzależniony jest od rodzaju źródeł energetycznych uruchamianych w treningu. Potencjał energetyczny człowieka można zmieniać w procesie treningowym, dobierając optymalne wartości obciążenia [127]. Polega to na doborze składowych obciążenia, które w sposób najbardziej obiektywny prowadzą do wytrącenia organizmu z homeostazy i następnie ustalają ją na innym, przeważnie wyższym poziomie. Ze względu na charakter metabolizmu pracujących mięśni trening może być realizowany wysiłkami maksymalnymi lub submaksymalnymi w warunkach przewagi beztlenowych i/lub tlenowych procesów przemian energetycznych. Charakterystyka procesów biochemicznych zachodzących w pracujących mięśniach i narządach w czasie wysiłku jest uwarunkowana wieloma czynnikami m. in. rodzajem skurczu mięśni, wielkością grup pracujących mięśni, czasem trwania wysiłku, objętością i intensywnością wykonanej pracy oraz długością przerw

odpoczynkowych [1, 53, 106, 154, 175]. Wpływem metabolizmu różnych dróg uzyskiwania energii na końcowy rezultat treningu zajmowali się Burke i wsp. [53] i O'Connor [244]. Cytowani autorzy porównywali efekty treningów realizowanych wysiłkami submaksymalnymi z treningami wykonywanymi maksymalnymi wysiłkami. W pracy Burke i wsp. [53] przedstawiono podobne potreningowe zmiany  $V_{O_2max}$ , progu mleczanowego i progu wentylacyjnego w obu grupach. W pracy O'Connor [244] zmiany wydolności anaerobowej mierzonej testem Wingate były odmienne w grupach realizujących trening wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi. Rezultaty uzyskiwane w treningach wykonywanych tylko wysiłkami maksymalnymi również są niejednoznaczne. W pracach Rehunena i wsp. [264], Thorstenssona i wsp. [304] stwierdzono, że trening szybkościowy nie powodował żadnych zmian w spoczynkowych poziomach wysokoenergetycznych fosfagenów (kwas adenozynotrójfosforowy – ATP i PCr) w mięśniach. W doniesieniach Linossiera i wsp. [206, 209], Parry i wsp. [249], Sharpa i wsp. [281] oraz Simoneau i wsp. [286] trening realizowany wysiłkami maksymalnymi powodował zwiększenie aktywności enzymów glikolitycznych. Natomiast w pracy Simoneau i wsp. [285] nie obserwowano tego wzrostu. Niektórzy autorzy wykazali, że trening sprinterski miał wpływ [177, 212, 266] lub nie [90, 206] na aktywność enzymów mitochondrialnych.

### ***1.1.1. Składowe obciążenia treningowego – metody pomiaru i oceny***

Problematyka składowych obciążenia treningowego jest wciąż przedmiotem badań i poszukiwań empirycznych. Do tej pory nie dopracowano się zadowalającej koncepcji rozkładu i regulacji składowych obciążeń w procesie treningu cech fizycznych. Jednym z głównych powodów jest brak jednolitych metod rejestracji obciążeń treningowych. Trenerzy na swój użytek wprowadzają zapisy obciążeń w bardzo różnych jednostkach pomiarowych (km, godz., liczba ćwiczeń) lub po prostu określają je opisowo: duże, małe, średnie; 50, 80, 100%; 2, 3, 4 punkty. Objętość w sporcie mierzy się najczęściej: czasem trwania wysiłku, liczbą wykonanych ćwiczeń, przebytymi kilometrami, masą podniesionej sztangi. Intensywność ćwiczeń fizycznych najczęściej określa się dzieląc wysiłki na anaerobowe: kwasomlekowe, niekwasomlekowe i mieszane oraz aerobowe. Uwzględnia to siłę oddziaływania różnych źródeł energetycznych. Ćwiczenia dzieli się na ogólne, ukierunkowane i specjalne, biorąc pod uwagę głównie związek techniki ruchu ćwiczenia z uprawianą dyscypliną sportową [292, 325, 327]. Zaciorski [340] wyróżnił w obciążeniu treningowym składowe: objętość i intensywność treningu oraz liczbę powtórzeń i serii z uwzględnieniem czasu przerw odpoczynkowych. Według Fidelusa [121] istotę obciążenia treningowego najrzetelniej charakteryzują

pomiary pracy i mocy włożonej (wewnętrznej), gdzie objętość jest proporcjonalna do wykonywanej pracy a intensywność do rozwijanej przez zawodnika mocy. Harre [155] jest zdania, że składowe treningu zależą głównie od czasu ćwiczenia: krótkiego, średniego oraz długiego. W innej pracy [156] wyróżnił obciążenia treningowe zewnętrzne (mierzone objętością i intensywnością pracy) oraz wewnętrzne, jako reakcja ustroju na zastosowane bodźce. Według Sozańskiego [292] wielkość obciążeń określają parametry ilościowe (wymiar pracy określonego rodzaju) oraz jakościowe (intensywność, jaką wykonał zawodnik w danym ćwiczeniu, jednostce treningowej czy cyklu). W metodzie oceny obciążeń Sozański [292] stosuje klasyfikację:

- obciążeń ze względu na rodzaj przygotowania (tzw. obszar informacyjny – rodzaj stosowanych ćwiczeń);
- wysiłków, uwzględniającą rodzaj stosowanych ćwiczeń;
- wysiłków, uwzględniającą oddziaływanie obciążenia na mechanizmy energetyczne ustroju (obszar energetyczny – szacowany rodzaj źródeł energetycznych zaangażowanych w wysiłku oceniany przez intensywność ćwiczeń), z modyfikacją polegającą na wyznaczeniu zakresów intensywności ćwiczeń.

Również Ważny [327] uważa, że objętość (pracę) należy rejestrować w obszarze energetycznym i informacyjnym. W innym podejściu objętość mierzy się jako pracę włożoną a intensywność jako moc włożoną uwzględniając w analizie również czas przerw odpoczynkowych [59, 121, 124, 317]. Taka różnorodność metod pomiaru i opisu obciążeń nie pozwala ani na porównawczą analizę obciążeń, ani na ich ściśle planowanie w treningu zawodników [127].

Jakkolwiek objętość i intensywność pracy uznaje się powszechnie za podstawowe składowe obciążenia treningowego, to Sozański [290] zauważa, że żadna składowa obciążenia nie determinuje wyniku w sposób niezależny od innych. Podobnie jak całkowite obciążenie nie jest zwykłą sumą składowych. W procesie treningu składowe obciążenia nie występują jednak w oderwaniu, lecz w postaci struktury, oddziałując na organizm kompleksowo [292]. Określenie zależności między obciążeniami treningowymi a zmianami możliwości fizycznych utrudnia także fakt, że przeważnie nie uwzględnia się bieżących reakcji zawodnika, jakie powstają pod wpływem wykonanej pracy, jak i tych czynników, które zmieniają się niezależnie od treningu, a mają znaczenie w osiągnięciu maksymalnych rezultatów sportowych [122]. Indywidualne reakcje zawodnika na obciążenie treningowe mogą być różne nawet, jeżeli wartości obciążenia będą zbliżone [310]. Przeprowadzone dotychczas badania obciążeń treningowych świadczą o tym, że ich struktura i oddziaływanie są bardzo złożone, a także trudne do sformalizowania pozwalającego na precyzyjny opis [326].



### ***1.1.2. Wpływ składowych obciążenia treningowego na efekty potreningowe***

Problematyka wpływu składowych obciążenia treningowego na efekty potreningowe, mimo licznej literatury, nadal pozostaje niedostatecznie zbadana w praktyce i teorii treningu. Zagadnieniem doboru składowych obciążenia treningowego i oceną skuteczności treningu zajmowało się wielu autorów [57, 59, 123, 124, 125, 126, 127, 249, 287, 291, 293, 317, 324, 327]. We wcześniejszych pracach weryfikowano hipotezę, że istnieje pewien optymalny układ składowych obciążenia treningowego (pracy, mocy i czasu przerw odpoczynkowych), który umożliwia uzyskanie maksymalnych efektów przyrostów cech siłowo-szybkościowych [57, 59, 123, 125, 126, 127, 317] i biochemicznej adaptacji mięśni do wysiłku [106, 154]. Wpływ treningu o różnym charakterze pracy mięśniowej na przyrost cech siłowo-szybkościowych oceniali Buśko [58], Fidelus i Urbanik [123], Häkkinen i Komi [144]. W pracach Fowlera i wsp. [131] i Trzaskomy [311] porównywano skuteczność trenera wahadłowego w zwiększeniu możliwości siłowo-szybkościowych człowieka w porównaniu z treningiem prowadzonym metodami tradycyjnymi. Buśko [57] oraz Buśko i Fidelus [59] podają, że trening o jednakowych składowych obciążeniach w grupach różniących się predyspozycjami szybkościowymi i wytrzymałościowymi nie powodował różnic mierzonych w wartościach biomechanicznych wielkości. Jednak u badanych z predyspozycjami szybkościowymi rejestrowano większe i szybciej występujące zmiany w porównaniu z badanymi o predyspozycjach wytrzymałościowych. W pracach Fidelusa i wsp. [126, 127] oraz Urbanika [317] badano wpływ intensywności (mocy) i objętości (pracy) treningu na zmiany momentów sił mięśniowych. Wykazano, że przy stałych wartościach pracy o wielkości efektów natychmiastowych i oddalonych decyduje moc treningu. Zwiększeniu wartości wykonanej pracy nie towarzyszyło zwiększenie przyrostów momentów sił mięśniowych w porównaniu z grupą wykonującą mniejszą pracę na treningu. Zdaniem tych autorów zwiększanie wykonanej pracy powyżej pewnej wartości nie zwiększa efektów treningowych. W doniesieniu Urbanika [317] trening realizowany na trenerze „równia pochyła” o jednakowych składowych obciążeniach wywoływał zbliżone przyrosty momentów sił mięśniowych niezależnie od pory jego przeprowadzenia (jesień, wiosna). Natomiast Parra i wsp. [249] sprawdzili jak treningi realizowane codziennie i co 3 dzień wpływają na moc mięśni kończyn dolnych i aktywność enzymów. Billat [32] oraz Tomlin i Wenger [308] opisali jak długość przerw odpoczynkowych zastosowanych w treningu interwałowym wpływa na zmianę parametrów biochemicznych i fizjologicznych. W doniesieniach Dudley'a i wsp. [106], Fidelusa i wsp. [125, 127] oraz Norkowskiego [242] badano wpływ przerw odpoczynkowych na potreningowe zmiany mierzonych cech fizycznych. W obu pracach Fidelusa i wsp. [125, 127] podano, że czas przerw odpoczynkowych w równoważnych treningach nie wpłynął na istotny

efekt treningu. Natomiast w badaniach Norkowskiego [242] wykazano, że zmiany czasu przerw odpoczynkowych w treningach realizowanych na cykloergometrze wpływały na: zmiany czasów trwania faz narastania, utrzymania i spadku mocy, wartości mocy i pracy rozwijanych w poszczególnych fazach (narastania, utrzymania i spadku mocy) w 30 s teście Wingate. Zmiany mocy średniej i mocy maksymalnej rozwijanej w teście Wingate nie różniły się istotnie między grupami trenującymi z różnymi przerwami odpoczynkowymi (15 i 45 s).

Objętość, intensywność i czas przerw odpoczynkowych nie są jedynymi czynnikami, od których zależy skuteczność treningów. Moc (intensywność) jest to stosunek wartości wykonanej pracy (objętości) do czasu jej trwania lub iloczyn siły i prędkości. Do tej pory w optymalizacji procesu treningowego sporadycznie oddziaływano na jej składowe – siłę i prędkość. Wiadomo, że prędkość, z jaką wykonywane są ćwiczenia treningowe, może również wpływać na skuteczność programu treningowego. Na przykład trening siłowy może być typowym treningiem siły (duże obciążenia mała prędkość ruchu) lub tzw. treningiem siły eksplozywnej (mocy) – maksymalna prędkość ruchu z małym obciążeniem. W piśmiennictwie jest wiele prac opisujących trening siły realizowany ćwiczeniami wykonywanymi z różnymi prędkościami [26, 33, 146, 149, 157, 185, 237, 258, 330]. Podobnie analizowano trening izokinetyczny wykonywany z różną prędkością oraz jego wpływ na rozwój siły, prędkości i mocy [92, 116, 216, 217, 284]. Jednak zdaniem Cronina i wsp. [96] trening izokinetyczny nie symuluje naturalnego ruchu ciała, który zawiera fazę przyspieszenia, hamowania czy czynności mięśni w cyklu rozciągnięcie-skurcz (CR-S) a przydatność wyników uzyskanych w testach izokinetycznych dla praktyki sportu wydaje się wątpliwa. Również Hamar [149] uważa, że urządzenia izokinetyczne nie są pozbawione wad i ich stosowanie jest ograniczone, ze względu na sztuczność ruchów izokinetycznych, które nie odpowiadają naturalnym ruchom sportowców. Urządzenia izokinetyczne uniemożliwiają analizę ćwiczenia izokinetycznego pod względem oceny możliwości siłowych w takich ruchach, w których mięśnie pracują w cyklu CR-S. Zastosowanie w procesie treningu cykloergometru ciernego (nieizokinetycznego) połączonego z komputerem wyposażonym w specjalne oprogramowanie np. Multi Cyclo Ergometr („MCE”), usuwa te problemy. Pozwala ściśle zdefiniować strukturę obciążenia pod względem czasu trwania wysiłku, wielkości wykonanej pracy (objętości) i/lub mocy (intensywności), liczby powtórzeń oraz czasu przerw odpoczynkowych. Umożliwia to zastosowanie tego sprzętu jako trenażera służącego zarówno do zwiększania jak i podtrzymania określonego poziomu wybranych cech fizycznych [242].

## 1.2. Cele pracy

Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że zagadnienie charakterystyki obciążeń treningowych jest niezwykle złożone, a część problemów związanych z ich oddziaływaniem na organizm człowieka, nie została definitywnie rozstrzygnięta. W cytowanych wcześniej pracach weryfikowano hipotezę, że istnieje pewien optymalny układ składowych obciążenia treningowego (pracy, mocy i czasu przerw odpoczynkowych), który umożliwi uzyskanie maksymalnych efektów w postaci przyrostów cech siłowo-szybkościowych i biochemicznej adaptacja mięśni do wysiłku. Dostępne dane sugerują, że predyspozycje szybkościowe i wytrzymałościowe nie powodują różnic w potreningowych wartościach mierzonych biomechanicznych wielkości. Wykazano, że przy stałych wartościach pracy (objętości) o wielkości efektów potreningowych decyduje moc treningu (intensywność). Interpretację wyników utrudnia to, że po treningach realizowanych wysiłkami maksymalnymi obserwowano wzrost siły i mocy mięśni kończyn dolnych, lub nie stwierdzano zmian mocy. Również w nielicznych badaniach, w których sprawdzono skuteczność treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi uzyskane wyniki nie dają pełnej jasności, w jakim stopniu potreningowe zmiany mocy zależą od rodzaju aktywności ruchowej. Objętość, intensywność i czas przerw odpoczynkowych nie są jedynymi czynnikami, od których może zależeć skuteczność treningów. Do tej pory w optymalizacji procesu treningowego sporadycznie oddziaływano na składowe mocy – siłę i prędkość. Wiadomo, że prędkość, z jaką wykonywane są ćwiczenia treningowe może również wpływać na skuteczność programu treningowego. Dostępne wyniki dotyczące tego zagadnienia, w realizacji, którego przeważnie stosowano trening siły lub trening izokinetyczny, są często ze sobą sprzeczne. Dodatkowo interpretację już uzyskanych danych komplikuje to, że wysiłki wykonywane w warunkach izokinetycznych nie odpowiadają naturalnym ruchom człowieka. W literaturze brak jest prac opisujących wpływ stosowanych różnych częstości pedałowania na cykloergometrze ciernym na zwiększanie siły i mocy sportowców. Dla teorii i praktyki treningu istotną kwestią będzie określenie, czy siła i prędkość, jako składowe intensywności treningu, wpływają na charakter zmian adaptacyjnych organizmu. Biorąc pod uwagę fakt uzyskiwania przez różnych autorów niejednoznacznych wyników badań dotyczących wpływu stosowanych obciążeń treningowych na końcowy efekt treningu uznano, że najpierw należy opracować ćwiczenia treningowe, a następnie ocenić ich skuteczność w zwiększaniu cech fizycznych. Z uwagi na złożoność zagadnienia pracę podzielono na dwie części uwzględniając teoretyczną i praktyczną stronę zagadnienia.

*Głównym celem pracy* była ocena skuteczności treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi o zmiennych składowych obciążenia treningowego: wartość wykonywanej pracy (objętość), rozwijanej mocy (intensyw-

ność) oraz jej składowe, tj. siła i prędkość oraz porównanie skuteczności treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi z treningami złożonymi z równoważnych wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W.

*Praktycznym celem pracy było wskazanie rodzaju wysiłków i rozwiązań metodycznych umożliwiających sterowanie efektami treningu mającego na celu zwiększania siły i mocy mięśni kończyn dolnych.*

Szczegółowe cele badawcze I i II części pracy zamieszczono w rozdziałach 2 (Część I) i 3 (Część II).

---

## ***2. Część I: Wpływ częstości pedałowania na sprawność mechaniczną człowieka w równoważnych wysiłkach o stałej mocy 250 W i w wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy***

### ***2.1. Przedstawienie problemu***

#### ***2.1.1. Ekonomiczna prędkość pedałowania w wysiłkach submaksymalnych***

Mechaniczne charakterystyki mięśni wyznaczane są zwykle podczas wysiłków maksymalnych lub submaksymalnych. W wysiłkach submaksymalnych pojęcie „ekonomiczna/optymalna prędkość pedałowania” definiowana jest jako częstość pedałowania, przy której badani zużywają najmniej tlenu przy zadanym obciążeniu. W literaturze wartości ekonomicznej prędkości pedałowania ( $v_e$ ) opisywano w przedziale od 60 do 100 obrotów/min [88, 143, 260, 299]. W kilku pracach podano, że wartość ekonomicznej częstości pedałowania wzrasta wraz ze wzrostem mocy wykonywanego wysiłku na cykloergometrze [46, 88, 280]. W badaniach Marsha i Martina [221] najmniejsze pochłanianie tlenu obserwowano przy 50 obrotach/min bez względu na generowaną moc 75, 100, 150 i 200 W. Wyliczona z wielomianu 2 stopnia ekonomiczna częstość pedałowania przy obciążeniu 200 W wyniosła 59,9 obrotów/min u kolarzy i 56,5 obrotów/min u biegaczy. Wyniki Marsha i Martina [221] nie są zgodne z rezultatami innych prac, w których stwierdzono wzrost wartości ekonomicznej częstości pedałowania ze wzrostem mocy wysiłku [46, 88, 280]. W przypadku wysiłków submaksymalnych stwierdzono u osób charakteryzujących się przewagą włókien mięśniowych szybkokurczliwych (FT) większą ekonomiczną częstość pedałowania w porównaniu z osobami

o przewodze włókien mięśniowych wolnokurczliwych (ST) [91, 280, 298]. Coyle i wsp. [93] znaleźli istotny związek między sprawnością mechaniczną brutto (GE) a udziałem (%) włókien ST ( $r = 0,75$ ). Wyniki te świadczą, że skład włókien mięśniowych może również wpływać na ekonomiczną częstość pedałowania [2, 91, 298].

### **2.1.2. Optymalna prędkość pedałowania w wysiłkach maksymalnych**

W wysiłkach maksymalnych pojęcie „prędkość optymalna” ( $v_o$ ) definiowane jest jako częstość pedałowania, przy której rozwinięto moc maksymalną ( $P_{max}$ ) [207, 208, 321]. W piśmiennictwie obliczona z wielomianów drugiego stopnia prędkość optymalna wynosiła od 100 do 140 obrotów/min (średnio 120 obrotów/min) [8, 71, 74, 102, 158, 165]. Uważa się, że proporcje włókien mięśniowych mają wpływ na optymalne prędkości podczas rozwijania mocy maksymalnej [51, 196]. W pracy Bottinelliego i wsp. [51] stwierdzono, że izolowane włókna mięśniowe wolnokurczliwe (ST) rozwijały mniejsze wartości  $P_{max}$  i  $v_o$  wyznaczone z zależności siła-prędkość ( $F-v$ ) w porównaniu z włóknami mięśniowymi szybko-kurczliwymi (FT). Hautier i wsp. [158] oraz McCartney i wsp. [228] stwierdzili, że im więcej włókien FT, tym większa moc maksymalna rozwijana jest przy wyższej prędkości optymalnej. W doniesieniu Hautiera i wsp. [158] znaleziono związek między ilością włókien FT a optymalną częstością pedałowania ( $r = 0,88$ ). Również w pracy Coyle'a i wsp. [91] stwierdzono, że wraz ze wzrostem prędkości prostowania w stawie kolanowym w warunkach izokinetycznych maksymalny moment siły malał, a zależność między momentem siły i % FT zmieniała się z  $r = 0,44$  do  $r = 0,75$  wraz ze wzrostem prędkości ze 115 do 400 stopni/sekundę. Zdaniem Hintzy'ego i wsp. [165] optymalne i ekonomiczne prędkości pedałowania w wysiłkach maksymalnych i submaksymalnych zależą od tych samych mechanicznych i fizjologicznych właściwości mięśni, np. proporcji włókien mięśniowych.

### **2.1.3. Sprawność mechaniczna w wysiłkach maksymalnych i submaksymalnych**

W piśmiennictwie istnieje wiele definicji współczynnika sprawności mięśni. Współczynnik sprawności „work efficiency” (WE) jest to stosunek pracy mechanicznej (wykonanej z obciążeniem) do energii zużytej na jej wykonanie pomniejszonej o wartość energii wykorzystanej na wykonanie pracy bez obciążenia [31, 134, 189]. Współczynnik sprawności „delta efficiency” (DE) jest to stosunek różnicy wartości pracy mechanicznej wykonanej z obciążeniem i bez obciążenia do różnicy zużytej energii podczas pracy z obciążeniem i bez obciążenia [31, 93, 134,

189, 283]. Stosunek pracy mechanicznej do energii zużytej na jej wykonanie definiuje się jako współczynnik sprawności mechanicznej [11, 16, 31, 60, 61, 134, 189, 331] lub współczynnik pracy użytecznej [245]. Wyróżniamy sprawność mechaniczną brutto (GE) definiowaną jako stosunek pracy mechanicznej do całkowitej zużytej energii oraz sprawność mechaniczną netto (NE) obliczanej jako stosunek pracy mechanicznej do wartości całkowitej zużytej energii pomniejszonej o wartość energii wydatkowanej w spoczynku. Sprawność mechaniczna jest zwykle używana do opisywania skuteczności (wydajności) ruchu człowieka. Lepszą sprawność (ekonomiczność) wiąże się z wyższym poziomem osiągnięć w różnych dyscyplinach sportowych [81, 94, 151]. Na podstawie piśmiennictwa można stwierdzić, że zmiany wartości sprawności mechanicznej w wybranych aktach ruchowych wynoszą od 2 do 80% w zależności od: zaangażowanej kończyny [328], wartości wykonanej pracy i czasu jej trwania [335], rodzaju wykonywanych ćwiczeń: ekscentrycznych, koncentrycznych i mieszanych [11, 12], rodzaju uprawianej przez badanych dyscypliny sportowej [268], rodzaju włókien mięśniowych [14], czy przyjętych metod obliczeń, np. prędkość biegu liczona na podstawie filmu [187] lub jako prędkość bieżni, po której porusza się badany [245]. W wielu pracach analizuje się sprawność mechaniczną brutto (GE), ponieważ jest to łatwe do zmierzenia i nie trzeba wprowadzać korekty uwzględniającej spoczynkowe zużycie tlenu [134]. Jednak niektórzy autorzy sugerują, że sprawność mechaniczna netto (NE) daje więcej informacji o układzie mięśniowym i nerwowym [93, 94, 170]. W doniesieniu Hansena i wsp. [151] sprawność mechaniczna była mniejsza przy mocy 250 W w porównaniu ze 150 W. Natomiast w publikacji Buško i Kłossowskiego [66] uzyskane wartości sprawności mechanicznej netto w wysiłkach 150 W i 250 W nie różniły się istotnie. Wyniki kilku prac wskazują, że sprawność mechaniczna brutto uzyskana w wysiłkach submaksymalnych wzrasta ze wzrostem obciążenia [88, 134, 218, 219, 236, 280] i zmienia się w zależności od rytmu pedałowania [117]. W doniesieniach Coasta i Welch [88], Coasta i wsp. [89], Pugh [260] sprawność mechaniczna brutto wzrastała, gdy częstość pedałowania zwiększała się z 40 do 60 obrotów/min, nie zmieniała się przy 80 obrotach/min i była podobna dla 100 obrotów/min. W pracach Böninga i wsp. [46], Chavarrena i Calbeta [87], Gaessera i Brooksa [134], Hagberga i wsp. [143], Seabury'ego i wsp. [280] i Żołędzia i wsp. [343] stwierdzono, że ze wzrostem częstości pedałowania sprawność mechaniczna brutto (GE) malała. Inni autorzy obserwowali, że w wysiłkach o mocy 280-290 W, niezależnie od rytmu pedałowania, GE była względnie stała [2, 117, 283]. Natomiast rezultaty przedstawione w pracy Buško i Kłossowskiego [66] wskazują, że w pewnym przedziale częstości pedałowania sprawność mechaniczna netto nie zależy od mocy wysiłku submaksymalnego i rytmu pedałowania, lecz od wartości wykonanej pracy.

O ile literatura dotycząca sprawności mechanicznej w wysiłkach submaksymalnych jest obszerna, to w piśmiennictwie spotyka się stosunkowo niewiele prac

opisujących sprawność mechaniczną w wysiłkach maksymalnych [16, 27, 142, 228, 335]. Opisane w tych doniesieniach maksymalne wysiłki różniły się czasem trwania, wielkością obciążenia lub częstością pedałowania a wartości otrzymanych sprawności mechanicznych netto wynosiły od 1 do 24,6%.

## 2.2. Cele, założenia i hipotezy

### *Cele*

Jak wynika z przeglądu piśmiennictwa zamieszczonego we wstępie pracy, istnieje wiele danych na temat wykonywania wysiłków z tzw. prędkością preferowaną natomiast znacznie mniej jest wiadomo na temat prędkości ekonomicznej w wysiłkach submaksymalnych i prędkości optymalnej w wysiłkach maksymalnych. We wcześniejszych pracach opisywano, że wartość ekonomicznej częstości pedałowania w wysiłkach submaksymalnych wzrastała wraz ze wzrostem mocy wykonywanego wysiłku na cykloergometrze. Jednak mamy również prace które tego nie potwierdzają. Bez względu na generowaną moc wartość częstości ekonomicznej była taka sama. Dostępne dane sugerują, że zmiany wartości sprawności mechanicznej w wybranych aktach ruchowych zależą od wartości wykonanej pracy i czasu jej trwania; rodzaju wykonywanych ćwiczeń: ekscentrycznych, koncentrycznych i mieszanych, rodzaju włókien mięśniowych, czy przyjętych metod obliczeń. W niektórych pracach stwierdzono, że sprawność mechaniczna w wysiłkach submaksymalnych wzrastała ze wzrostem obciążenia, w innych malała. Istnieją prace, w których opisano, że sprawność mechaniczna w wysiłkach o tej samej intensywności zmienia się w zależności od rytmu pedałowania (wzrasta ze wzrostem częstość pedałowania do osiągnięcia optimum a następnie maleje z dalszym wzrostem częstości pedałowania) lub nie ulega istotnej zmianie. Stwierdzono, że w wysiłkach o mocy 280 – 300 W sprawność mechaniczna ma zbliżone wartości niezależnie od częstości pedałowania. W piśmiennictwie spotyka się stosunkowo niewiele prac opisujących sprawność mechaniczną w wysiłkach maksymalnych. Interpretację wyników utrudnia fakt, że opisane maksymalne wysiłki różniły się czasem trwania, wielkością obciążenia lub częstością pedałowania, a wartości otrzymanych sprawności mechanicznych netto wynosiły od 1 do 24,6%. Dotychczas nie znaleziono prac opisujących zmiany sprawności mechanicznej przy prędkości ekonomicznej z najmniejszym zużyciem energii w wysiłkach maksymalnych o tej samej wielkości wykonanej pracy i różnym rytmie pedałowania na cykloergometrze nieizokinetycznym.

*Celem I części pracy było:*

1. określenie wpływu częstości pedałowania na sprawność mechaniczną brutto i netto w wysiłkach o stałej mocy 250 W,



2. określenie wpływu różnego rytmu pedałowania (ustalonego zmianą obciążenia zewnętrznego) na wartości generowanej mocy i sprawność mechaniczną brutto i netto w wysiłkach maksymalnych,
3. wyznaczenie zależności zużycie tlenu-częstość pedałowania w celu obliczenia prędkości ekonomicznej w równoważnych wysiłkach submaksymalnych o stałej mocy 250 W,
4. wyznaczenie charakterystyk siła-częstość pedałowania ( $F-v$ ) i moc-częstość pedałowania ( $P-v$ ) w celu obliczenia wartości mocy maksymalnej i prędkości optymalnej w wysiłkach maksymalnych.

### **Założenia**

1. Wysiłki równoważne są to wysiłki o tej samej wielkości rozwijanej mocy i wykonanej pracy.
2. W wysiłkach równoważnych sprawność mechaniczna zależy od częstości pedałowania.
3. W wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy sprawność mechaniczna zależy od intensywności (rytmu pedałowania).

### **Hipotezy**

1. W wysiłkach równoważnych o stałej mocy 250 W wzrost częstości pedałowania do wartości tzw. prędkości ekonomicznej (częstość pedałowania, przy której obserwuje się najniższe zużycie tlenu), powoduje wzrost sprawności mechanicznej brutto i netto do wartości maksymalnych. Dalsze zwiększanie częstości pedałowania (powyżej częstości ekonomicznej) powoduje spadek wartości sprawności mechanicznej brutto i netto.
2. W wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy na cykloergometrze zmniejszanie częstości pedałowania (spowodowane zwiększaniem obciążenia zewnętrznego) powoduje wzrost generowanej mocy aż do osiągnięcia wartości maksymalnych a następnie spadek mocy.
3. W wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy na cykloergometrze zmniejszanie częstości pedałowania (spowodowane zwiększaniem obciążenia zewnętrznego) nie powoduje zmian wartości sprawności mechanicznej brutto i netto.

## **2.3. Materiał i metody**

Zgodnie z wymogami Deklaracji Helsińskiej uczestnicy byli poinformowani o celu badań i metodyce postępowania oraz możliwości rezygnacji z udziału w eksperymencie na dowolnym etapie realizacji badań. Uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w eksperymencie. Badania uzyskały akceptację Senackiej

Komisji Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie.

### **2.3.1. Materiał**

W badaniach wzięło udział 17 studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie. Charakterystyka badanych: wiek –  $20,6 \pm 0,7$  lat, wysokość ciała –  $180,9 \pm 6,1$  cm i masa ciała –  $79,9 \pm 10,3$  kg. W pracy zostały przedstawione wyniki tych osób, które w pełni wykonały wszystkie pomiary niezbędne do realizacji poszczególnych celów badań I części tj. cztery wysiłki o stałej mocy 250 W ( $n = 12$ ; wiek –  $20,7 \pm 6,5$  lat, wysokość ciała –  $180,1 \pm 6,2$  cm i masa ciała –  $79,0 \pm 10,1$  kg) i/lub pięć wysiłków maksymalnych na cykloergometrze ( $n = 13$ ; wiek –  $21,9 \pm 1,1$  lat, wysokość ciała –  $182,9 \pm 5,6$  cm i masa ciała –  $81,3 \pm 7,3$  kg).

### **2.3.2. Przebieg eksperymentu**

Przed rozpoczęciem eksperymentu uczestnicy zapoznali się z procedurą badawczą.

W teście składającym się z wysiłków submaksymalnych badani wykonywali czterokrotnie, w odstępie 7 dni, 3-minutowy wysiłek o stałej mocy 250 W i wartości wykonanej pracy mechanicznej 45 kJ. W kolejnych próbach częstość pedałowania wynosiła 40, 60, 80 i 100 obrotów/min.

W teście złożonym z wysiłków maksymalnych badani wykonali 5 maksymalnych wysiłków o tej samej wielkości wykonanej pracy. Jako pierwszy wykonano 30-sekundowy wysiłek maksymalny (test Wingate) z zawieszonym na szalce cykloergometru obciążeniem równym 7,5% ciężaru ciała (BW). Wartość pracy wykonanej w tym teście przyjęto za wielkość wzorcową stosowaną przez badane osoby w pozostałych próbach. Każdy badany, w odstępach, co najmniej 3 dni, odbywał kolejne próby polegające na wykonaniu maksymalnego wysiłku na cykloergometrze z obciążeniem 2,5, 5, 10 i 12,5% BW aż do momentu wykonania pracy z 30-sekundowego wysiłku maksymalnego z obciążeniem równym 7,5% BW. Zmiana zewnętrznego obciążenia wymuszała różny rytm pedałowania.

Wszystkie wysiłki maksymalne oraz wysiłki o stałej mocy 250 W wykonywano na cykloergometrze Monark 824 E (Szwecja) połączonym z komputerem klasy IBM PC Pentium z programem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Czujniki mocowano na kole zamachowym, które pokonywało dystans 6 m podczas jednego obrotu pedałami. Badani, po ustaleniu dla siebie odpowiedniej wysokości siodełka i kierownicy, wykonywali testy w pozycji siedzącej bez wstawiania na pedałach, rozpoczynając jazdę z nieruchomej pozycji. Stopy przymocowano paskami do pedałów. Wysiłki maksymalne wykonywano z pozycji zatrzymanej.

Podczas wykonywania wysiłków maksymalnych badani byli słownie zachęcani do osiągnięcia jak najszybciej maksymalnej prędkości i utrzymania jej do końca testu.

W wysiłkach submaksymalnych zadaniem badanych było utrzymywanie stałej częstości pedałowania.

Wszystkie pomiary wykonano w godzinach rannych.

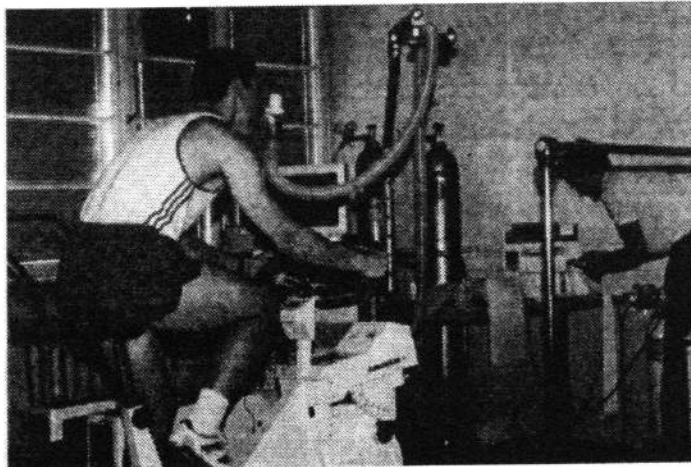
### 2.3.3. Pomiar zużycia tlenu

W celu określenia zużycia tlenu podczas ćwiczeń na cykloergometrze oraz w fazie odpoczynku (do powrotu  $V_E$  do wartości spoczynkowej) użyto analizatora gazów firmy SensorMedics (USA) z pakietem oprogramowania 2900/2900c Metabolic Measurements Cart/System. Na ryc. 1 przedstawiono standardową pozycję badanego i widok ogólny urządzeń pomiarowych. Wentylację i charakterystyki zmiennych gazowych monitorowano z oddechu na oddech (breath-by-breath). Wartości uśredniano co 20 sekund w systemie wentylacji otwartej. Przed każdym badaniem analizator gazów kalibrowano gazami  $O_2$  i  $CO_2$  (AGA Gas BV, Holandia) o znanym stężeniu.

Z równania (1) obliczono energię całkowitą brutto.

$$E_c = V_{O_2} \cdot 21,122 \quad (1)$$

gdzie:  $E_c$  – energia całkowita brutto [kJ],  
 $V_{O_2}$  – objętość zużytego tlenu [l],  
21,122 – równoważnik energetyczny 1 litra tlenu [kJ/l].



Rycina 1. Standardowa pozycja badanego podczas wykonywania wysiłków na cykloergometrze

### 2.3.4. Pomiar i obliczanie mocy maksymalnej, prędkości optymalnej, sprawności mechanicznej oraz prędkości ekonomicznej

Korzystając z programu „MCE v. 4.0” dokonano pomiarów i obliczeń: wielkości wykonanej pracy mechanicznej ( $W_m$ ), czasu trwania wysiłku ( $t_w$ ), mocy średniej ( $P_m$ ) obliczonej jako iloraz wykonanej w teście pracy i czasu trwania wysiłku, największej mocy w danej próbie ( $P_i$ ), gdzie  $i$  – wartość obciążenia, prędkości ( $v_i$ ), przy której rozwinięto  $P_i$  oraz indeksu zmęczenia (FI) obliczanego jako różnica między  $P_i$  a najmniejszą wartością mocy uzyskaną na koniec próby, podzieloną przez  $P_i$  [294].

Pracę podczas jednego obrotu liczone ze wzoru

$$W_o = m_o \cdot g \cdot S \quad (2)$$

gdzie:  $W_o$  – praca podczas jednego obrotu [J],  
 $m_o$  – masa obciążników na szalce ergometru [kg],  
 $g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ],  
 $S$  – stała ergometru, droga, jaką pokonuje koło zamachowe cykloergometru podczas jednego obrotu [m].

Moc obliczano ze wzoru

$$P_{mo} = W_o \cdot t_o^{-1} \quad (3)$$

gdzie:  $P_{mo}$  – moc średnia podczas obrotu [W],  
 $t_o$  – czas trwania obrotu koła [s].

Prędkość średnią obrotu obliczano ze wzoru

$$V = S \cdot t_o^{-1} \quad (4)$$

gdzie:  $V$  – prędkość średnia obrotu koła [obroty/s].

Błąd toru pomiarowego zależy od dokładności pomiaru czasu, która przy częstotliwości próbkowania 1000 Hz wynosi 0,001 s. Wartość błędu pomiaru największej mocy przy danym obciążeniu wynosi ok. 1,1-1,8% i jest zgodna z danymi literaturowymi (ok. 1,6-2,5%, [224, 323]). Maksymalny względny błąd powtarzalności, wyrażony wskaźnikiem zmienności wynosi 3,0% [101].

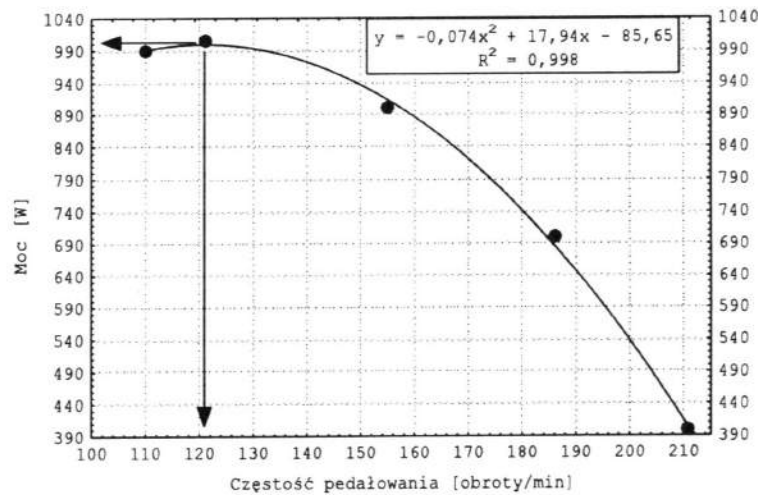
Z otrzymanych w wysiłkach maksymalnych wyników, dla każdego badanego wyznaczono zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ) w celu określenia indywidualnej mocy maksymalnej ( $P_{max}$ ) i prędkości optymalnej ( $v_o$  – częstość pedałowania, przy której rozwijano moc maksymalną [321]). Moc maksymalną

i prędkość optymalną pedałowania obliczono z indywidualnych równań wielomianu drugiego stopnia, którymi opisywano zależność  $P-v$  [18, 69, 71, 74, 165, 192, 207, 208]. Najwyższy punkt krzywej (największą wartość funkcji) definiowano jako moc maksymalną ( $P_{\max}$ ), a odpowiadającą jej częstość pedałowania jako prędkość optymalną (Ryc. 2) [208].

Sprawność mechaniczną brutto (GE) obliczano jako stosunek pracy mechanicznej do energii całkowitej brutto zgodnie z równaniem (5), a sprawność mechaniczną netto (NE) jako stosunek pracy mechanicznej do energii całkowitej netto (wartość energii całkowitej brutto pomniejszona o wartość energii wydatkowanej w spoczynku).

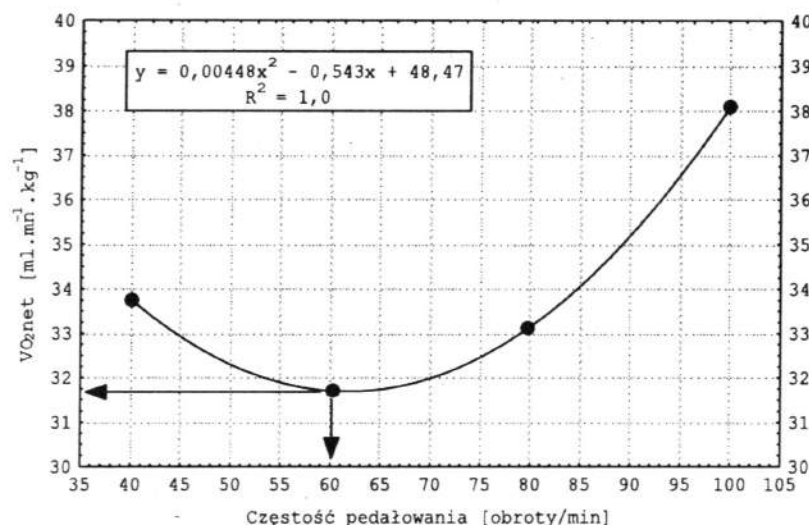
$$GE = \frac{W_m}{E_c} \cdot 100\% \quad (5)$$

gdzie: GE – sprawność mechaniczna netto [%],  
 $W_m$  – praca mechaniczna [kJ],  
 $E_c$  – energia całkowita brutto [kJ].



**Rycina 2.** Zależność moc-prędkość pedałowania otrzymana dla jednego badanego w maksymalnych wysiłkach na cykloergometrze. Strzałki pokazują maksymalną moc ( $P_{\max}$ ) i optymalną prędkość pedałowania ( $v_o$ )

Zgodnie z wcześniejszymi pracami Buško [69, 73], Coasta i Welcha [88], Gassera i Brooksa [134], Hintzy'ego i wsp. [165], Marsha i Martina [221], Seabury'ego i wsp. [280] ekonomiczną częstość pedałowania ( $v_e$ ) dla wysiłków o stałej mocy 250 W obliczano z indywidualnych równań wielomianu drugiego stopnia, którymi opisywano zależność częstość pedałowania- $V_{O_2net}$ . Najniższy punkt krzywej definiowano jako ekonomiczną częstość pedałowania (Ryc. 3). Do wyznaczenia zależności częstość pedałowania –  $V_{O_2net}$  brano średnie zużycie tlenu netto w trzeciej minucie wysiłku.



Rycina 3. Zależność  $V_{O_{2net}}$ -częstość pedałowania otrzymana w wysiłkach submaksymalnych na cykloergometrze dla jednego badanego. Strzałki określają ekonomiczną częstość pedałowania i minimalne zużycie tlenu dla wysiłku o stałej mocy 250 W

### 2.3.5. Opracowanie statystyczne

W celu weryfikacji wyników badań zastosowano analizę wariancji MANOVA. Istotność różnic między średnimi porównano post hoc – testem LSD (test najmniej istotnych różnic; least significant difference test). W przeprowadzonych analizach statystycznych poziom wartości  $p < 0,05$  przyjęto jako istotny. Wszystkie obliczenia wykonano programem STATISTICA™ (v. 5.5, StatSoft, USA).

## 2.4. Wyniki

Średnie wartości ( $\pm$ SD) otrzymanych rezultatów w teście składającym się z wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W zamieszczono w tabeli 1. Średnie wartości energii całkowitej brutto i netto oraz sprawności mechanicznej brutto i netto otrzymane dla częstości pedałowania 100 obrotów/min różniły się istotnie ( $p < 0,05$ ) od rezultatów osiągniętych przy częstości pedałowania 40, 60 i 80 obrotów/min. Średnia wartość ekonomicznej częstości pedałowania obliczona z indywidualnych wielomianów drugiego stopnia dla: netto  $V_{O_2}$  wyniosła  $v_{eVO_{2net}} = 61,7 \pm 17,6$  obrotów/min z towarzyszącym jej średnim zużyciem tlenu  $V_{O_{2min}} = 31,29 \pm 3,03$  ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> a NE  $v_{eNE} = 64,6 \pm 13,2$  obrotów/min z obliczonym średnim NE = 23,6±2,3%. Ekonomiczna częstość pedałowania wyliczona z brutto  $V_{O_2}$  była niższa

( $55,8 \pm 23,1$  obrotów/min), ale różnica między częstościami brutto i netto była nieistotna statystycznie.

**Tabela 1.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) mierzonych parametrów w wysiłkach submaksymalnych

Parametry	Częstość pedałowania [obroty/min]			
	40	60	80	100
$W_m$ [kJ]	44,1 $\pm$ 1,14	43,7 $\pm$ 1,4	43,8 $\pm$ 0,68	43,6 $\pm$ 0,7
$E_c$ [kJ]	297,8 $\pm$ 36,2 <sup>a</sup>	299,3 $\pm$ 43,0 <sup>a</sup>	291,4 $\pm$ 39,7 <sup>a</sup>	358,1 $\pm$ 44,2
$E_{cnet}$ [kJ]	205,2 $\pm$ 28,2 <sup>a</sup>	194,0 $\pm$ 15,7 <sup>a</sup>	191,3 $\pm$ 16,2 <sup>a</sup>	233,1 $\pm$ 34,2
GE [%]	15,0 $\pm$ 2,2 <sup>a</sup>	14,9 $\pm$ 2,6 <sup>a</sup>	15,3 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	12,3 $\pm$ 1,5
NE [%]	21,8 $\pm$ 2,8 <sup>a</sup>	22,6 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	23,1 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	19,0 $\pm$ 2,7

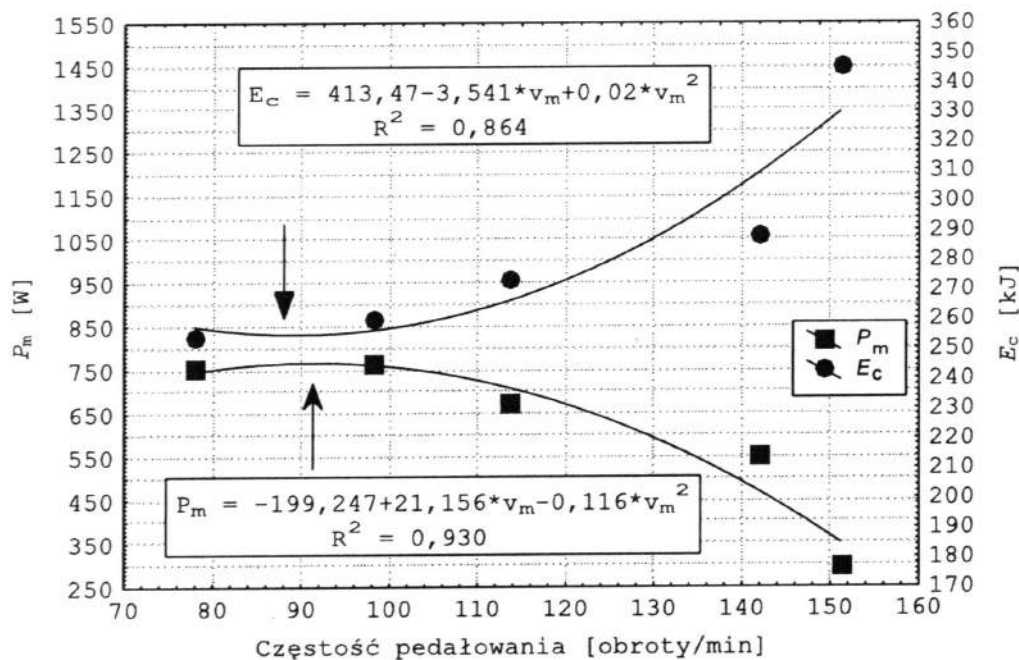
Objaśnienia:  $W_m$  – praca mechaniczna,  $E_c$  – energia całkowita brutto,  $E_{cnet}$  – energia całkowita netto, GE – sprawność mechaniczna brutto, NE – sprawność mechaniczna netto,  $n = 12$ , <sup>a</sup> – średnie różnią się istotnie między 100 a 40, 60 i 80 obrotów/min, ( $p < 0,05$ ).

Wyniki badań uzyskane w teście składającym się z wysiłków maksymalnych zamieszczono w tabeli 2. Podczas maksymalnych wysiłków na cykloergometrze wraz ze zwiększaniem obciążenia z 2,5 do 12,5% BW prędkość średnia ( $v_m$ ) zmalała z 151,5 obrotów/min do 78,0 obrotów/min,  $P_i$  i  $P_m$  wzrastały odpowiednio z 383,3 i 293,5 do 958,0 i 761,0 W. Wartości mocy różniły się między poszczególnymi próbami z wyjątkiem uzyskanych przy obciążeniu 10 i 12,5% BW. Średnie wartości sprawności mechanicznej brutto (GE) i netto (NE) uzyskane przy obciążeniu 2,5% BW różniły się istotnie statystycznie w odniesieniu do wartości uzyskanych w wysiłkach z obciążeniem 5, 7,5, 10 i 12,5% BW. Moc maksymalna ( $P_{max}$ ) wyliczona z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  wyniosła  $1050,6 \pm 164,1$  W (wartość względna,  $P_{max}/BM = 12,98 \pm 2,13$  W/kg) i wystąpiła przy optymalnej częstości pedałowania ( $v_o$ ) równej  $107,6 \pm 11,2$  obrotów/min. Z opisanych wielomianami drugiego stopnia indywidualnych zależności  $P_m-v_m$  i  $E_c-v_m$  otrzymanych w wysiłkach maksymalnych o tej samej wielkości wykonanej pracy (Ryc. 4) obliczono średnią, optymalną częstość pedałowania ( $90,0 \pm 5,8$  obrotów/min), przy której rozwinięto największą moc średnią ( $P_m = 768,3 \pm 83,6$  W) i „ekonomiczną częstość pedałowania” wynoszącą  $87,9 \pm 16,1$  obrotów/min, przy której wystąpiło najmniejsze zużycie całkowitej energii brutto ( $E_c = 228,5 \pm 55,4$  kJ). Obie obliczone częstości pedałowania nie różniły się istotnie.

Tabela 2. Średnie wartości ( $\pm$ SD) mierzonych parametrów w wysiłkach maksymalnych

Parametry	Obciążenie [% BW]				
	2,5	5	7,5	10	12,5
$v_m$ [obroty/min]	151,5 $\pm$ 8,9	142,0 $\pm$ 7,2 <sup>a</sup>	113,8 $\pm$ 5,5 <sup>ab</sup>	98,2 $\pm$ 7,9 <sup>abc</sup>	78,0 $\pm$ 9,2 <sup>abcd</sup>
$v_i$ [obroty/min]	192,5 $\pm$ 11,2	171,1 $\pm$ 9,2 <sup>a</sup>	141,9 $\pm$ 5,7 <sup>ab</sup>	119,0 $\pm$ 9,9 <sup>abc</sup>	97,2 $\pm$ 10,3 <sup>abcd</sup>
$W_m$ [kJ]	20,0 $\pm$ 1,7	20,2 $\pm$ 1,6	20,1 $\pm$ 1,7	20,2 $\pm$ 1,7	20,1 $\pm$ 1,7
$P_i$ [W]	383,3 $\pm$ 34,7	681,9 $\pm$ 67,1 <sup>a</sup>	844,0 $\pm$ 77,2 <sup>ab</sup>	948,4 $\pm$ 109,1 <sup>abc</sup>	958,0 $\pm$ 142,8 <sup>abc</sup>
$P_i/BM$ [W/kg]	4,72 $\pm$ 0,28	8,39 $\pm$ 0,45 <sup>a</sup>	10,39 $\pm$ 0,43 <sup>ab</sup>	11,67 $\pm$ 0,97 <sup>abc</sup>	11,93 $\pm$ 1,26 <sup>abc</sup>
$P_m$ [W]	293,5 $\pm$ 28,5	547,9 $\pm$ 46,7 <sup>a</sup>	670,9 $\pm$ 56,8 <sup>ab</sup>	761,0 $\pm$ 87,5 <sup>abc</sup>	753,8 $\pm$ 96,3 <sup>abc</sup>
$E_c$ [kJ]	344,9 $\pm$ 58,3	288,0 $\pm$ 51,0 <sup>a</sup>	273,1 $\pm$ 66,1 <sup>a</sup>	260,0 $\pm$ 47,2 <sup>a</sup>	254,2 $\pm$ 45,3 <sup>ab</sup>
$E_{cnet}$ [kJ]	168,4 $\pm$ 32,7	129,7 $\pm$ 29,5 <sup>a</sup>	115,2 $\pm$ 26,8 <sup>a</sup>	112,6 $\pm$ 27,8 <sup>a</sup>	106,7 $\pm$ 14,2 <sup>ab</sup>
GE [%]	5,9 $\pm$ 1,0	7,2 $\pm$ 1,2 <sup>a</sup>	7,8 $\pm$ 2,1 <sup>a</sup>	8,0 $\pm$ 1,4 <sup>a</sup>	8,1 $\pm$ 1,1 <sup>ab</sup>
NE [%]	12,2 $\pm$ 2,2	16,2 $\pm$ 3,0 <sup>a</sup>	18,1 $\pm$ 3,1 <sup>a</sup>	18,8 $\pm$ 4,2 <sup>a</sup>	19,0 $\pm$ 1,9 <sup>ab</sup>
FI [%]	24,7 $\pm$ 3,3	21,1 $\pm$ 4,1 <sup>a</sup>	21,1 $\pm$ 4,4 <sup>a</sup>	19,2 $\pm$ 5,8 <sup>a</sup>	18,2 $\pm$ 2,8 <sup>a</sup>
$t_w$ [s]	68,5 $\pm$ 4,1	36,9 $\pm$ 2,0 <sup>a</sup>	30,0 $\pm$ 0,0 <sup>ab</sup>	26,6 $\pm$ 1,9 <sup>abc</sup>	27,0 $\pm$ 3,4 <sup>abc</sup>

Objaśnienia:  $v_m$  – prędkość średnia,  $v_i$  – prędkość, przy której uzyskano największą moc w danej próbie,  $W_m$  – praca mechaniczna,  $P_i$  – największą moc w danej próbie,  $P_m$  – moc średnia, FI – indeks zmęczenia,  $E_c$  – energia całkowita brutto,  $E_{cnet}$  – energia całkowita netto, GE – sprawność mechaniczna brutto, NE – sprawność mechaniczna netto,  $t_w$  – czas trwania wysiłku, BM – masa ciała ( $n = 13$ ); średnie różnią się istotnie ( $p < 0,05$ ): <sup>a</sup> – 2,5% BW a 5, 7,5, 10, 12,5% BW, <sup>b</sup> – 5% BW vs. 7,5, 10, 12,5% BW, <sup>c</sup> – 7,5 % BW vs. 10, 12,5% BW, <sup>d</sup> – 10% BW vs. 12,5% BW.



Rycina 4. Przykładowa zależności moc średnia-prędkość średnia ( $P_m$ - $v_m$ ) oraz energia całkowita brutto-prędkość średnia ( $E_c$ - $v_m$ ) otrzymane dla średnich wartości grupy. Strzałki pokazują „średnią optymalną i „ekonomiczną” częstotliwość pedałowania w wysiłkach maksymalnych



### **Podsumowanie wyników badań**

1. W wysiłkach równoważnych o stałej mocy 250 W ekonomiczna częstość pedałowania (prędkość ekonomiczna), przy najmniejszym koszcie energetycznym i największej sprawności mechanicznej wynosi 61,7 obrotów/min.
2. Zwiększanie częstości pedałowania z 40 do 80 obrotów/min powoduje nieistotny wzrost sprawności mechanicznej a dalsze zwiększanie do 100 obrotów/min jej istotny spadek.
3. W wysiłkach maksymalnych optymalna częstość pedałowania (prędkość optymalna), przy której badani rozwijali moc maksymalną wynosi 107,6 obrotów/min ( $P_{\max} = 1050,6 \text{ W}$ ;  $P_{\max}/\text{BM} = 12,98 \text{ W/kg}$ ).
4. W wysiłkach maksymalnych zwiększanie obciążenia zewnętrznego z 2,5 do 12,5% BW, w odstępach co 2,5% BW, powodowało istotne statystycznie zmniejszanie częstości pedałowania oraz istotny wzrost mocy. Wartości sprawności mechanicznej wzrastały istotnie tylko wobec pomiaru wykonanego z obciążeniem 2,5% BW. W pozostałych przypadkach wzrost był nieistotny.
5. Najmniejsze wartości sprawności mechanicznej brutto i netto rejestrowane przy obciążeniu 2,5% BW (największa częstość pedałowania) różniły się istotnie statystycznie od sprawności mechanicznych uzyskanych w pozostałych próbach, natomiast przy obciążeniu 5-12,5% BW sprawność mechaniczna nie różniła się istotnie ( $p < 0,05$ ).

## **2.5. Dyskusja**

Umiejętność doboru częstości pedałowania jest jednym z istotnych elementów przygotowania sportowca w kolarstwie. Paradoksalnie, mimo że najbardziej ekonomiczną jest częstość 50-80 obrotów/min [46, 88, 89, 134, 221, 281], to kolarze wybierają 90-105 obrotów/min podczas długotrwałych wysiłków o wysokiej intensywności [143, 222, 240, 276]. Podobne zachowanie zostało opisane u osób nie będących kolarzami [221, 222, 303]. W pracy Marsha i Martina [221] preferowana predkość malała wraz ze wzrostem mocy wysiłku z 80 (75 W) do 65 obrotów/min (175 W) u nie trenujących. W przypadku kolarzy i biegaczy długodystansowych wynosiła 91-94 obrotów/min niezależnie od obciążenia. Natomiast zużycie tlenu rosło wraz ze wzrostem częstości pedałowania niezależnie od obciążenia wynoszącego 100, 150 i 200 W. Najmniejsze było przy 56-60 obrotach/min. Podobną preferowaną częstość pedałowania opisali Marsh i Martin [220] u kolarzy oraz u osób nietrenujących kolarstwa (kolejno 85,2 i 91,6 obrotów/min). W badaniach Marsha i Martina [221] oraz Sarre'a i wsp. [277] wzrost mocy wysiłku nie wpływał istotnie na zmianę wartości wybieranej częstości. Podobne rezultaty uzyskał Pugh [260]. Natomiast w pracach Hansena i wsp. [150, 151] wraz ze wzrostem mocy

wysiłku preferowana częstość pedałowania również wzrastała. W prezentowanych badaniach uczestnicy woleli częstość pedałowania wynoszącą ok. 80 obrotów/min, przy której obserwowano największe średnie wartości sprawności mechanicznej. Jest to w zgodzie z pracą Hagberga i wsp. [143], w której opisano podobne zjawisko. Powstało kilka teorii wyjaśniających przedkładanie wyższej częstości pedałowania niż optymalna podczas jazdy na rowerze. Według tych teorii jazda na rowerze z wyższą częstością pedałowania niż optymalna powoduje: mniejszy stres i zmęczenie [250, 251, 301, 302], obniżenie zużycia glikogenu [2], rozwijanie optymalnej siły na pedałach [112, 191, 272] oraz usprawnia pracę pompy mięśniowej (hemodynamika) [141]. Ponadto w kilku pracach stwierdzono, że biomechaniczne zmienne takie jak: siły rozwijane na pedałach, momenty siły w stawach i siła mięśniowa są minimalizowane przy wyższych częstościach pedałowania wraz ze wzrostem mocy [173, 251, 263]. W doniesieniu Takaishi'ego i wsp. [303] wartość siły rozwijanej na pedałach malała wraz ze wzrostem częstości pedałowania z 45 do 105 obrotów/min. W pracy Patterson i Moreno [251] stwierdzono, że siła mierzona na pedałach była najmniejsza przy częstości pedałowania 90 i 100 obrotów/min w wysiłkach wykonywanych kolejno z obciążeniem 100 i 200 W. Zdaniem Hansena i wsp. [151] wzrost preferowanej częstości pedałowania kompensuje wysoki moment siły rozwijany na pedałach podczas jazdy z obciążeniem 250 W w porównaniu z niższym momentem siły towarzyszącym wysiłkowi wykonywanemu z małym oporem (150 W). W komputerowej symulacji Hull i wsp. [173] oraz Redfield i Hull [263] wykazali, że częstość pedałowania 95-100 obrotów/min minimalizuje średnie momenty siły w stawach i siłę mięśniową. Oba te czynniki wpływały na wartość siły rozwijanej na pedałach przy jeździe z obciążeniem 200 W. W pracy Hansena i wsp. [150] wykazano, że wybór preferowanej częstości pedałowania nie zależał od siły i mocy kończyn dolnych. Natomiast w pracy Marsha i wsp. [223] przedstawiono, że wraz ze wzrostem mocy wysiłku wzrastała suma momentów sił rozwijanych w stawach biodrowych, kolanowych i skokowo-goleniowych, ale różnice nie były istotne. Również w pracy Lepersa i wsp. [205] spadek siły mięśniowej po 30 minutowej jeździe na rowerze nie zależał od częstości pedałowania. Natomiast w pracy Lepersa i wsp. [204] podczas dwugodzinnej jazdy ze stałą mocą zanotowano spadek częstości pedałowania o 21% (z 87 do 69 obrotów/min), co świadczy, że badani wybierali rozwijanie większej siły i mniejszej prędkości ze wzrastającym zmęczeniem. Mimo wielu przeprowadzonych badań, nie otrzymano jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, dlaczego wybierana jest częstość pedałowania o niższej sprawności mechanicznej (większe zużycie tlenu) a nie ekonomiczna, przy której jest najmniejsze zużycie tlenu.

W kilku pracach stwierdzono, że ekonomiczna częstość pedałowania wzrasta z powiększaniem mocy wysiłku [46, 88]. W pracy Böninga i wsp. [46] ekonomiczna częstość pedałowania wzrastała z 52 obrotów/min przy 50 W do 67 obro-

tów/min przy 200 W. W pracy Coast i Welch [88] obserwowano liniowy wzrost ekonomicznej częstości pedałowania z 50 do 80 obrotów/min przy wzroście mocy ze 100 do 300 W. Seabury i wsp. [280] opisali wzrost ekonomicznej częstości pedałowania z 42 obrotów/min dla 41 W do 62 obrotów/min dla 327 W. W pracy Marsha i Martina [221] ekonomiczna częstość pedałowania zmieniała się od 53,3 do 59,9 obrotów/min wraz ze wzrostem mocy z 75 do 200 W. W naszych badaniach ekonomiczna częstość pedałowania wyliczona z indywidualnych charakterystyk  $V_{O_2net}$  opisanych wielomianami drugiego stopnia wyniosła  $61,7 \pm 17,6$  obrotów/min. Jest to w zgodzie z wynikami wcześniejszych prac [87, 88, 221, 280, 328], a ekonomiczna częstość pedałowania wyliczona z brutto  $V_{O_2}$  była niższa ( $55,8 \pm 23,1$  obrotów/min). Różnice między częstościami brutto i netto były nieistotne statystycznie. W pracy Hintzego i wsp. [165] ekonomiczna częstość pedałowania wyliczona z brutto i netto  $V_{O_2}$  była podobna. Wielu autorów analizuje sprawność mechaniczną brutto (GE) obliczaną jako stosunek pracy zewnętrznej do całkowitej zużytej energii (total energy consumption), bez uwzględnienia korekty dla  $V_{O_2}$  w spoczynku. W pracy Chavarrena i Calbeta [87] stwierdzono, że sprawność mechaniczna brutto u kolarzy malała ze wzrostem częstości pedałowania. Zależność GE-częstość pedałowania była paraboliczna i ze wzrostem mocy (intensywności) wysiłku ulegała spłaszczeniu. Również inni autorzy obserwowali obniżenie GE wraz ze wzrostem częstości pedałowania przy stałej mocy wysiłków [46, 134, 143, 280]. Natomiast, Faria i wsp. [117] opisali, że w wysiłkach o mocy 140 W sprawność mechaniczna brutto spadała z 18 do 14% przy wzroście częstości pedałowania z 68 do 132 obrotów/min, ale podczas wysiłków o mocy 290 W, niezależnie od częstości pedałowania, GE było względnie stałe i wynosiło w przybliżeniu 22%. Również Sidossis i wsp. [283] obserwowali zbliżone wartości GE przy 60, 80 i 100 obrotach/min w wysiłku o mocy 280 W. Średnie wartości badań własnych wskazują, że w wysiłkach o tej samej mocy 250 W, pracy (ok. 45 kJ) różniących się częstością pedałowania najniższy koszt energetyczny i największa sprawność mechaniczna występowały przy 80 obrotach/min. Jednak podobnie jak w pracy Sidossisa i wsp. [283] nie obserwowano istotnych różnic wartości GE przy częstości pedałowania 40, 60 i 80 obrotów/min. W pracy Hintzego i wsp. [165] dla wysiłku submaksymalnego 150 W stwierdzono występowanie optimum zużycia  $V_{O_2}$  przy częstości pedałowania 60 obrotów/min. W pracy Chavarren i wsp. [86] stwierdzono, że wpływ częstości pedałowania na  $V_{O_2}$  maleje wraz ze wzrostem obciążenia. W konsekwencji różnice w sprawności mechanicznej brutto są niższe przy wyższych intensywnościach ćwiczeń [88, 134, 151]. Marsch i Martin [221] zaobserwowali najmniejsze zużycie tlenu w wysiłku 250 W przy 50 obrotach/min, co nie pokrywa się z wynikami badań własnych, które zostały zaprezentowane w przedstawionej pracy. Jednak różnice między wartościami sprawności mechanicznych brutto i netto uzyskanymi przy częstościach pedałowania 40, 60 i 80 obrotów/min nie różniły się istotnie. Buško i Kłossowski [66] porównując uzyska-

ne w pięciominutowym wysiłku o mocy 150 W (wykonana praca 45 KJ) wartości sprawności mechanicznej netto przy 30 obrotach/min  $NE = 23,2\%$  i 80 obrotach/min  $NE = 21,9\%$  ze sprawnością mechaniczną netto uzyskaną w badaniach dla trzyminutowego wysiłku o mocy 250 W i częstości pedałowania 40 i 80 obrotów/min (wykonana praca 45 KJ) nie obserwowali istotnych różnic. Również Swain i Wright [300] nie stwierdzili różnic w  $V_{O_2max}$ ,  $HR_{max}$  uzyskanych przy częstości 50 i 80 obrotów/min w ćwiczeniach o mocy 150 W i czasie trwania 6 minut.

Sprawność mechaniczna w wysiłkach maksymalnych została opisana zaledwie w kilku pracach [27, 142, 228, 335]. W pracy Wojcieszak i wsp. [335] sprawność mechaniczna netto w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym z obciążeniem 7,5% BW wyniosła 13,3% a w doniesieniu Beneke i wsp. [27] 16,2%. W pracy Graniera i wsp. [142] sprawność mechaniczna w teście Wingate, wykonanym z obciążeniem, przy którym wystąpiła największa moc podczas wyznaczania charakterystyk  $F-v$ , wyniosła 24,6% u sprinterów i 24,5% u średniodystansowców. Otrzymane w badaniach własnych wartości sprawności mechanicznej dla 30-sekundowego wysiłku maksymalnego ( $NE = 18,1\%$  przy obciążeniu 7,5% BW) są niższe niż w doniesieniu Graniera i wsp. [142], nieznacznie wyższe od wielkości podanych w publikacji Wojcieszak i wsp. [335] i zbliżone do wyników Beneke i wsp. [27]. W pracy McCartney'a i wsp. [228] sprawność mechaniczna dla 30-sekundowych wysiłków maksymalnych wykonywanych na cykloergometrze izokinetycznym wynosiła dla częstości pedałowania 60 obrotów/min 18,7-21,5%, 100 obrotów/min 7,5-11,5% i 140 obrotów/min 1-3%. W 30-sekundowych izokinetycznych wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy największą moc stwierdzono przy 140 obrotach/min, a najmniejszą przy 60 obrotach/min. Wzrostowi częstości pedałowania towarzyszył wzrost mocy i FI. Odwrotne zjawisko zaobserwowano w naszej pracy. Zwiększanie obciążenia powodowało zmniejszanie częstości pedałowania, któremu towarzyszył wzrost mocy i obniżenie FI. Podobnie jak w pracy McCartney'a i wsp. [228] najmniejsze wartości sprawności mechanicznej obserwowano przy wysiłkach wykonywanych z największą częstością pedałowania. Jednak istotne różnice wystąpiły tylko między sprawnością mechaniczną uzyskaną w wysiłku wykonanym z obciążeniem 2,5% BW (największą częstością pedałowania) a pozostałymi próbami. Te rezultaty mogą przeczyć tezie McCartney'a i wsp. [228] sformułowanej na podstawie wyników badań uzyskanych na cykloergometrze izokinetycznym, że sprawność mechaniczna zależy od obciążenia tak długo jak długo częstość pedałowania jest w przybliżeniu stała. Wyniki tej pracy oraz rezultaty z doniesień Buśko i Kłossowskiego [66] oraz Swaina i Wrighta [300] mogą sugerować, że w pewnym przedziale prędkości pedałowania sprawność mechaniczna nie zależy od mocy wysiłku, częstości pedałowania i czasu jego trwania, a jedynie od wartości wykonanej pracy.

W krótkotrwałych wysiłkach maksymalnych moc maksymalna jest rozwijana przy optymalnej prędkości pedałowania, a zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) opisuje się hiperbolą [97, 341] lub linią prostą [70, 71, 97, 105, 196, 228, 274, 275, 276, 341]. W pracy McCartney'a i wsp. [228] wyznaczano charakterystyki  $F-v$  w dziesięcioszekundowych wysiłkach wykonywanych na cykloergometrze izokinetycznym w zakresie prędkości 60-160 obrotów/min zmienianej, co 20 obrotów/min (przerwa 2 minuty między powtórzeniami) oraz w maksymalnych wysiłkach 30-sekundowych z częstością pedałowania 60, 100 i 140 obrotów/min. Stwierdzono liniową zależność między maksymalnym momentem siły a częstością pedałowania. Zależność moc-częstość pedałowania przyjmowała kształt paraboli. Największą moc  $1826 \pm 287$  W zarejestrowano przy częstości pedałowania 140 obrotów/min, a najmniejszą  $1323 \pm 198$  W przy 60 obrotach/min. Zmiana częstości pedałowania miała wpływ na wartości mocy maksymalnej natomiast moc średnia i wykonana praca we wszystkich 30-sekundowych wysiłkach była podobna. W pracy Hintzy'ego i wsp. [165] średnie wartości prędkości optymalnej ( $v_o$ ) wynosiły  $123,1 \pm 11,2$  obrotów/min a  $P_{\max}/BM$   $11,1 \pm 1,6$  W/kg. Arsac i wsp. [8] uzyskali  $v_o = 125 \pm 9$  obrotów/min i  $P_{\max}/BM = 11,5 \pm 1,7$  W/kg. Hautier i wsp. [158] otrzymali  $v_o = 120 \pm 8$  obrotów/min,  $P_{\max} = 921 \pm 200$  W i  $P_{\max}/BM = 14,36 \pm 2,37$  W/kg. Otrzymałą w naszej pracy zależność siły od prędkości opisano linią prostą. Jest to zgodne z pracami innych autorów [70, 71, 74, 97, 180, 321, 341]. Moc maksymalna ( $P_{\max}$ ) wyliczona z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  wyniosła  $1050,6 \pm 164,1$  W ( $12,98 \pm 2,13$  W/kg) i wystąpiła przy optymalnej częstości pedałowania ( $v_o$ ) równej  $107,6 \pm 11,2$  obrotów/min. Opisana w doniesieniu Hautiera i wsp. [158] moc maksymalna przeliczona na kilogram masy ciała (BM) była wyższa niż w naszych pomiarach. Mogło to być spowodowane tym, że w pracy Hautiera i wsp. [158] uczestnicy badań specjalnie trenowali do testu sprinterskiego a przy obliczaniu mocy maksymalnej uwzględniano moment inercyjny koła zamachowego cykloergometru. Otrzymane w naszej pracy wyniki są zgodne z danymi zamieszczonymi w literaturze przedmiotu dla cykloergometru nieizokinetycznego [8, 71, 74, 165, 321]. W pracy Dotan i Bar-Or [103] zauważono, że moc spada bardziej, gdy zwiększa się obciążenie podczas testu. McCartney i wsp. [228] stwierdzili, że spadek mocy zależy od częstości pedałowania. Większy spadek mocy przy wyższej częstości pedałowania, wynikał zdaniem tych autorów ze spadku współczynnika pracy użytecznej. W naszych badaniach, w porównaniu z pracą Dotana i Bar-Ora [103], stwierdzono obniżenie wartości indeksu zmęczenia (FI) wraz ze wzrostem obciążenia podczas testu. Jednak wzrostowi obciążenia i spadkowi FI towarzyszył wzrost sprawności mechanicznej. Jest to zgodne z wynikami pracy Vandewalle'a i wsp. [320], którzy stwierdzili, że spadek mocy podczas wykonywania testu Wingate w niewielkim stopniu zależy od obciążenia wysiłkowego. Niezgodność z wynikami pracy Dotana i Bar-Ora [103] może być spowodowana odmienną techniką wykonania próby.

W naszych badaniach – stała praca, zmienny czas próby, w pracy Dotan i Bar-Or [103] – zmienna praca, stały czas próby.

Wydawało się, że zjawisko doboru częstości pedałowania (preferowanej/ekonomicznej) nie występuje w wysiłkach maksymalnych, w których badani wykonują próbę z maksymalną częstością. W naszych badaniach, z opisanych wielomianami drugiego stopnia indywidualnych zależności  $P_m-v_m$  i  $E_c-v_m$  w wysiłkach maksymalnych o tej samej wielkości wykonanej pracy, obliczono średnią, optymalną częstość pedałowania (przy której rozwijano największą moc średnią) oraz „ekonomiczną” (przy której wystąpiło najmniejsze zużycie całkowitej energii brutto i netto). Oba obliczenia nie różniły się istotnie. Może to świadczyć o tym, że w wysiłkach maksymalnych o tej samej wartości wykonanej pracy, podobnie jak w wysiłkach submaksymalnych, istnieje średnia, ekonomiczna częstość pedałowania, przy której występuje najniższy koszt energetyczny, jednocześnie rozwijana jest największa moc średnia. Teza ta znajduje pośrednio potwierdzenie w pracy Kohlera i Boutelliera [196], którzy na podstawie modelu matematycznego, dla zmodyfikowanego równania Hill'a uwzględniającego typy włókien mięśniowych, otrzymali  $v_e$  w przedziale 42-60 obrotów/min oraz  $v_o \approx 95$  obrotów/min.

Na podstawie przeglądu piśmiennictwa wydaje się, że ekonomiczne i optymalne prędkości uzyskane w wysiłkach maksymalnych i submaksymalnych mogą zależeć od tych samych biologicznych czynników np. typu włókien mięśniowych [69, 165, 196]. Wzrost częstości pedałowania wiąże się ze wzrostem prędkości skracania mięśni i obniżeniem wartości rozwijanej siły mięśni [229]. Wzrost prędkości skracania mięśni może być związany z większą rekrutacją włókien mięśniowych FT [119], a na obniżenie siły ma wpływ większy udział włókien mięśniowych ST [270]. Jest to w zgodzie z wynikami pracy Barany'ego [17], w której opisano, że maksymalna prędkość skracania mięśni zależy od typów włókien mięśniowych. A to oznacza, że osoba z przewagą włókien FT powinna mieć wyższą ekonomiczną prędkość w wysiłku submaksymalnym oraz rozwijać wyższą optymalną i ekonomiczną prędkość w wysiłkach maksymalnych. Potwierdzają to badania innych autorów, którzy znaleźli związek między częstością pedałowania a typem włókien mięśniowych w wysiłkach submaksymalnych [91, 298] i maksymalnych [158, 228]. W innych pracach [25, 140] nie stwierdzono, by częstość pedałowania zależała od typów włókien mięśniowych. Również w pracy Pattona i wsp. [253] stwierdzono, że moc maksymalna bardziej zależy od rozmiarów ciała niż charakterystyki włókien mięśniowych. Mimo to, wydaje się, że włókna FT mogą rekrutować się preferencyjnie przy małej prędkości i dużej intensywności wysiłku [2, 118] oraz wysokiej prędkości i małej mocy wysiłku [276, 298]. To również potwierdza przypuszczenie, że te same czynniki są odpowiedzialne za optymalizowanie częstości pedałowania na cykloergometrze w wysiłkach submaksymalnych i maksymalnych.

## 2.6. Podsumowanie i wnioski

1. Wyniki badań wykazały, że w wysiłkach równoważnych o stałej mocy 250 W występuje ekonomiczna częstość pedałowania wynosząca 61,7 obrotów/min, przy której obserwowano najmniejszy koszt energetyczny i największą wartość sprawności mechanicznej brutto i netto. Istotne różnice dla mierzonych wartości energii całkowitej brutto i netto, sprawności mechanicznej brutto i netto stwierdzono między wysiłkami wykonywanymi z częstością pedałowania 40, 60, 80 obrotów/min a 100 obrotów/min. Uzyskane wartości przy prędkościach pedałowania 40, 60 i 80 obrotów/min nie różniły się istotnie. Wydaje się, że w wysiłkach submaksymalnych o mocy 250 W, podobnie jak w wysiłkach o intensywności 280-327 W, obserwujemy spłaszczenie krzywych mierzonych parametrów w funkcji częstości pedałowania. Brak również istotnych różnic dla kosztu energetycznego i sprawności mechanicznej w przedziale częstości pedałowania 40-80 obrotów/min. Prawdopodobnie jest to spowodowane jednoczesną rekrutacją włókien ST i FTa w wysiłkach o intensywności około 80-90%  $V_{O_2max}$  w tym zakresie prędkości. Przy obciążeniu 80-90%  $V_{O_2max}$  jako pierwsze tracą glikogen włókna ST a podgrupy A i B włókien FT tracą glikogen w różnym stopniu. Przy takim obciążeniu zasoby glikogenu wyczerpują się najpierw we włóknach mięśniowych typu FTa. Dalsze zwiększenie częstości pedałowania do 100 i więcej obrotów/min powoduje dodatkowy udział włókien FTb. Rekrutacja jednostek motorycznych włókien mięśniowych FTb wymusza zmianę metabolizmu w kierunku przemian procesów beztlenowych. Wyrazem tego jest między innymi coraz wyższy pobór tlenu oraz coraz wyższe stężenie mleczanu we krwi. Dodatkowo częstość pedałowania 100 obrotów/min w wysiłkach 250 W dla większości uczestników, była zbliżona do prędkości optymalnej, przy której rozwijali największą moc w wysiłkach maksymalnych. Typ włókien mięśniowych FT bierze głównie udział w wytwarzaniu mocy maksymalnej i można domniemywać, że wysoki koszt energetyczny przy 100 obrotach/min w wysiłku submaksymalnym o mocy 250 W jest spowodowany rekrutacją włókien FT oraz spadkiem sprawności mechanicznej włókien mięśniowych typu ST pracujących poza optimum swej sprawności.
2. W wysiłkach maksymalnych o tej samej wielkości wykonanej pracy, zmiana rytmu pedałowania (intensywności wysiłków) wywołana zwiększaniem obciążenia z 2,5 do 12,5% BW powodowała istotny statystycznie wzrost wartości rozwijanej mocy oraz nieistotny wzrost kosztu energetycznego i sprawności mechanicznej. Moc maksymalną ( $P_{max} = 1050,6$  W;  $P_{max}/BM = 12,98$  W/kg) badani rozwijali przy prędkości optymalnej pedałowania, wynoszącej 107,6 obrotów/min. Istotne statystycznie różnice dla kosztu energetycznego i sprawności mechanicznej człowieka znaleziono między wysiłkami wykonywanymi z ob-

ciążeniem 2,5% BW a 5, 7,5, 10 i 12,5% BW, a przy obciążeniach od 5 do 12,5% BW koszt energetyczny i sprawność mechaniczna nie różniły się istotnie. Może to wynikać z tego, że w wysiłkach maksymalnych wykonywanych z obciążeniem od 5 do 12,5% BW już od początku pracy następuje wyczerpywanie glikogenu zarówno we włóknach mięśniowych ST jak i FT. W wysiłku maksymalnym wykonywanym z obciążeniem 2,5% BW występował najmniejszy opór na pedałach, co umożliwiała rozwijanie największej prędkości. Prawdopodobnie w wysiłku wykonywanym z największą częstością pedałowania badani angażowali dodatkowo (preferencyjnie) oprócz włókien ST i FTa, które rekrutowane są w zależności od wymaganej siły, także szybko kurczliwe miocyty o najniższym potencjale oksydacyjnym (FTb). Miocyty FTb biorą udział w bardzo szybkim powstawaniu napięcia przy każdym skurczu mięśnia, co istotnie modyfikuje fizjologiczny koszt wykonywanej pracy i pogłębia zaburzenia homeostazy. Spadek wartości sprawności mechanicznej oraz intensyfikacja zakwaszenia prowadzą do szybszego i większego zmęczenia mięśni.

3. Znajomość charakterystyki generowania mocy, dostępnej podczas pracy z różną prędkością skracania mięśni, może być bardzo pomocna zarówno w optymalizacji programów treningowych sportowców jak i w planowaniu ćwiczeń fizycznych rehabilitowanych pacjentów. Jako ćwiczenia treningowe do realizacji II części pracy wybrano wysiłki maksymalne wykonywane z obciążeniem 5 i 10% BW. Różniły się one istotnie rozwijaną mocą i częstością pedałowania a nie różniły się istotnie kosztem energetycznym i sprawnością mechaniczną. Wybrano także wysiłki submaksymalne o stałej mocy 250 W wykonywane z częstością pedałowania 40 i 80 obrotów/min, które różniły się istotnie częstością pedałowania, a nie różniły się istotnie  $V_{O_{2net}}$  i sprawnością mechaniczną.



### ***3. Część II: Wpływ treningu realizowanego wysiłkami maksymalnymi i równoważnymi wysiłkami o stałej mocy 250 W na siłę i moc mięśni kończyn dolnych***

#### ***3.1. Przedstawienie problemu***

##### ***3.1.1. Zmiany biochemiczne i biomechaniczne zachodzące w mięśniach pod wpływem różnych metod treningowych***

Zmiany zachodzące w mięśniach pod wpływem treningu oraz wartości rozwijanej siły i mocy zależą od rodzaju i struktury treningu [1, 175]. Trening siłowy powoduje hipertrofię mięśni i przyrosty siły [139, 199, 305] z małym wzrostem lub bez zwiększenia wydolności tlenowej [138, 329]. Trening z małym oporem i z cyklicznie powtarzаныmi wysiłkami wytrzymałościowymi np. bieg, pływanie, jazda na rowerze, powoduje wzrost  $\dot{V}O_{2max}$  i zdolności do wykonywania pracy w długim czasie bez zwiększenia siły czy hipertrofii mięśni [10, 167]. Trening wytrzymałościowy powoduje głównie adaptacje w metabolizmie tlenowym (aktywność enzymów przemian tlenowych, zużycie tlenu) [160, 167, 169, 257], podczas gdy trening szybkościowy wzrost aktywności enzymów metabolizmu beztlenowego [90, 206, 265] oraz zwiększenie zawartości substratów energetycznych w mięśniach [80, 265, 304]. W literaturze spotyka się nieliczne doniesienia dotyczące poprawy wydolności aerobowej i/lub  $\dot{V}O_{2max}$ , zwiększenia aktywności enzymów tlenowych pod wpływem treningów złożonych z wysiłków maksymalnych o wysokiej intensywności [168, 209, 212, 286, 296]. Uważa się, że biochemiczna adaptacja mięśni do wysiłku zależy głównie od rodzaju treningu [1], intensywności wykonywanych ćwiczeń i długości przerw odpoczynkowych [106, 154, 159]. Zdaniem MacDougalla i wsp. [212] otrzymywany pod wpływem treningu anaero-

bowego wzrost aktywności enzymów glikolitycznych i tlenowych jest kontrowersyjny. Wielu badaczy stwierdziło wzrost aktywności enzymów glikolitycznych po treningu sprinterskim [80, 90, 177, 265], natomiast inni brak zmian [159]. Wykazano, że trening sprinterski miał wpływ [177, 212, 266] lub nie wywierał wpływu [90, 206] na aktywność enzymów mitochondrialnych (Tabela 3).

W pracy Thorstenssona i wsp. [304] stwierdzono, że moc maksymalna może wzrastać, podczas gdy ilość wykorzystanej energii beztlenowej pozostaje bez zmian. Bogdanis i wsp. [43, 44] oraz Trump i wsp. [309] wykazali, że w wysiłkach przerywanych o wysokiej intensywności wykorzystuje się metabolizm tlenowy podczas odpoczynku do resyntezy naruszonych zapasów fosfokreatyny (PCr) i usunięcia nagromadzonego podczas ćwiczeń kwasu mlekowego [308]. Metaboliczny mechanizm wyjaśniający wzrost mocy maksymalnej podczas krótkich, maksymalnych wysiłków nie jest do końca poznany [206]. W pracach Rehunena i wsp. [264], Thorstenssona i wsp. [304] trening „sprinterski” nie powodował żadnych zmian w spoczynkowych poziomach wysokoenergetycznych fosfagenów (kwas adenozynotrójfosforowy – ATP i PCr) w mięśniach, chociaż Thorstensson i wsp. [304] obserwowali po 8-tygodniowym treningu szybkościowym na bieżni istotny przyrost siły izometrycznej oraz wysokości wyskoku CMJ (counter movement jump). Uważa się, że trening mieszany np. trening siły + trening wytrzymałości [199] czy też trening „sprinterski” + trening wytrzymałości [288] powodują mniejsze zmiany siły i mocy oraz fizjologicznej adaptacji do wysiłku w porównaniu z treningiem jednorodnym np. tylko trening siły, tylko trening szybkości lub tylko trening wytrzymałości. W pracy Häkkinena i wsp. [147] opisany jest przypadek identycznego wzrostu maksymalnej siły izometrycznej i wartości ciężaru maksymalnego (CM) o 21-22% po treningu siły i treningu mieszanym (trening siły + wytrzymałości).

Zdolność człowieka do rozwijania mocy w krótkim czasie odgrywa ważną rolę w wielu konkurencjach sportowych i w codziennej aktywności. Moc zależy od siły i prędkości. Trening ukierunkowany na zwiększanie siły i prędkości, jako składowych mocy, jest często prowadzony oddzielnie. Zwiększenie maksymalnej siły lub prędkości czy obu tych czynników jednocześnie pod wpływem treningu poprawiało maksymalną moc mięśni [120, 145, 146, 184, 206, 297]. Zdaniem Bella i wsp. [26] poprawa siły niekoniecznie wpływa na zwiększenie mocy, ponieważ duża część efektu treningu siły jest pochodzenia nerwowego [132, 267]. W doniesieniu Osterasa i wsp. [247] trening siły (85% 1 CM) poprawiał część krzywej  $F-v$  dla dużych obciążeń i małych prędkości. Zmianom tym towarzyszył istotny wzrost  $P_{max}$ . W pracy Häkkinena [146] wykazano, że trening zawierający ćwiczenia z dużymi ciężarami, podczas których rozwija się okołomaksymalne wartości siły a relatywnie małe prędkości ruchu, poprawia przede wszystkim część krzywej zależności siła-prędkość, położonej w obszarze małych prędkości, natomiast ćwiczenia wykonywane z dużymi prędkościami a małą siłą wpływają na całą

**Tabela 3.** Dane z publikacji naukowych opisujące procentowe zmiany mocy maksymalnej ( $P_{max}$ ) i mocy średniej ( $P_{mw}$ ) rozwijanej w teście Wingate, mocy maksymalnej ( $P_{max}$ ) obliczanej z zależności  $P-v$ , enzymów i  $V_{O_{2max}}$  po treningach realizowanych wysiłkami maksymalnymi na cykloergometrze

	n	$P_{max}$ ( $P_{max}$ )	$P_{mw}$	Enzymy przemian		$V_{O_{2max}}$	Piśmiennictwo
				beztlenowych	tlenowych		
Wysilek: 3 x 30 s, $t_p$ 20 min, trening: 2-3 x w tyg. przez 6 tyg.	11 ♂	3,0	5,0			13,5*	Allemeier i wsp. [3]
Wysilek: 30 s, $t_p$ 20 min, trening: 3 x w tyg. przez 4 tyg.	6 ♂ 10 ♀	♂ 1,4 ♀ 6,0*	♂ 1,4 ♀ 10,6*	PFK: ♂ 14,3 ♀ 7,7	CS: ♂ 3,0 ♀ 9,7		Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [114]
Wysilek: 15 s, $t_p$ 45 s i 30 s, $t_p$ 15 min; trening: 2,5 x w tyg. przez 6 tyg.	7 ♂ + 4 ♀	-0,8	-1,1	PFK 17,0* CK -8,4	CS 12,1*		Jacobs i wsp. [177]
Wysilek: 5 s, $t_p$ 55 s; trening: 4 x w tyg. przez 7 tyg.	8 ♂ + 2 ♀	26,0* (23,0*)	16,0*	PFK 19,0* LDH 20,0*	CS 14,1 HADH 13,6	-0,8	Linossier i wsp. [206]
Wysilek: 5 s, $t_p$ 55 s; trening: 4 x w tyg. przez 9 tyg.	7 ♂	(27,8*)					Linossier i wsp. [208]
Wysilek: 5 s, $t_p$ 55 s; trening: 4 x w tyg. przez 7 tyg.	8 ♂	(28,3*)		PFK 17,0* LDH 31*	CS 3,1 HADH 0,3	2,9	Linossier i wsp. [209]
Wysilek: 30 s, $t_p$ 4 min, trening 3 x w tyg. przez 7 tyg.	12 ♂			HK 56,0* PFK 49,0* LDH 7,0	CS 36,0* HADH 39,0	7,5*	MacDougall i wsp. [212]
Wysilek: =6 s, $t_p$ 45 s (1), $t_p$ 15 s (2), trening: 5 x w tyg. przez 8 tyg.	20 ♂ 20 ♂	11,5* 11,2*	11,6* 12,8*				Norkowski [242]
Wysilek: 10 s, $t_p$ 30 s	9 ♂	11,0*	15,4*				O'Connor [244]
Wysilek: 30 s, $t_p$ 90 s	6 ♂	7,1	19,5*			14,0*	O'Connor [244]
Wysilek: 15 s, $t_p$ 45 s i 30 s, $t_p$ 12 min; trening: 2 tyg. (14 treningów)	5 ♂	3,0	3,0	CK 44,0* PFK 106,0* LDH 44,8* HK 5,2*	CS 38,0* HADH 60,0*	11,0*	Parra i wsp. [249]
Wysilek: 15 s, $t_p$ 45 s i 30 s, $t_p$ 12 min; trening: 6 tyg. (14 treningów)	5 ♂	20,0*	14,0*	CK 44,0* PFK 67,6* LDH 8,6* HK 7,4*	CS 28,4* HADH 38,7*		Parra i wsp. [249]
Wysilek: 30 s, $t_p$ 4 min, trening: 3 x w tyg. przez 7 tyg.	6 ♂ +2 ♀	16,8*	11,8*			4,2*	Stathis i wsp. [296]

Objaśnienia: CK – kinaza kreatynowa, CS – syntaza cytrynianowa, HADH – dehydrogenaza 3 hydroksycylo koenzym A, HK – heksokinaza, LDH – dehydrogenaza mleczanowa, PFK – fosfofruktokinaza;  $t_p$  – czas przerwy między wysiłkami, tyg. – tydzień; ♂ – mężczyźni, ♀ – kobiety; \* –  $p < 0,05$ .

krzywą  $F-v$ . Natomiast Kanehisa i Miyashita [185] stwierdzili, że trening z dużymi ciężarami podnoszonymi w wolnym tempie prowadzi do zwiększenia siły maksymalnej i mocy w ruchach z małymi prędkościami, natomiast dynamiczne podnoszenie mniejszych ciężarów zwiększa siłę i moc w obszarze dużych prędkości. Podobne potreningowe zmiany obserwowano po ćwiczeniach wykonywanych na dynamometrze izokinetycznym z dużą i małą prędkością [92, 116].

### **3.1.2. Zastosowanie cykloergometru w treningu siły i mocy kończyn dolnych**

W literaturze spotyka się rozbieżne rezultaty dotyczące zmian mocy występujących po różnych rodzajach treningów na cykloergometrze z użyciem krótkich wysiłków o wysokiej intensywności. Allemeier i wsp. [3], Esbjörnsson i wsp. [113], Jacobs i wsp. [177], Rodas i wsp. [266] stwierdzili, że trening „sprinterski” na cykloergometrze nie powodował zmian mocy mierzonej w testach na cykloergometrze. W pracy Parry i wsp. [249] w grupie badanych, która trenowała codziennie przez dwa tygodnie, nie obserwowano potreningowych zmian mocy maksymalnej i mocy średniej mierzonej w teście Wingate. W drugiej grupie, która po każdym treningu miała dwa dni przerwy, moc maksymalna i moc średnia wzrosły istotnie. Również w pracy O'Connor [244], w zależności od zastosowanych ćwiczeń, zanotowano istotne lub nieistotne potreningowe zmiany mocy maksymalnej mierzonej w teście Wingate. Natomiast w pracach Linossiera i wsp. [206, 207, 208, 209], Norkowskiego [242], Norkowskiego i Buśko [243], Simoneau i wsp. [285, 286], Stathisa i wsp. [296] trening z zastosowaniem krótkich wysiłków o wysokiej intensywności na cykloergometrze spowodował wzrost mocy maksymalnej w 10-, 30- i 90-sekundowych wysiłkach maksymalnych oraz obliczanej z charakterystyk moc-prędkość ( $P-v$ ).

Uważa się, że wzrost stężenia kwasu mlekowego (LA) po wysiłku maksymalnym jest przejawem adaptacji do treningu o wysokiej intensywności [171, 271]. MacRae i wsp. [215] stwierdzili, że po treningu o małej intensywności stężenie kwasu mlekowego obniża się, a po treningu o wysokiej intensywności wzrasta. W pracach Denisa i wsp. [99], Jacobs i wsp. [177], Linossiera i wsp. [206] wykazano, że trening „sprinterski” powoduje wyższą koncentrację kwasu mlekowego po wysiłkach testowych. W pracy Sharpa i wsp. [281] akumulacja mleczanu istotnie wzrastała po treningu szybkościowym, podczas gdy pH w mięśniach nie zmieniało się. W doniesieniach Parry i wsp. [249] oraz Rodasa i wsp. [266] trening złożony z 15- i 30-sekundowych wysiłków maksymalnych spowodował spadek stężenia wewnątrzmięśniowego LA w mięśniach, podczas gdy stężenie LA we krwi kapilarnej wzrastało, a pH nie ulegało zmianom po teście Wingate. Natomiast w pracy Nevilla i wsp. [241] obserwowano po treningu wzrost stężenia LA zarówno we-

wnątrzmięśniowego jak i we krwi, którym towarzyszył spadek pH po 30-sekundowym maksymalnym wysiłku testowym. W doniesieniu Phillipsa i wsp. [256] trening realizowany na poziomie 59%  $V_{O_2max}$  spowodował obniżenie stężenia LA po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym. W pracach Linossiera i wsp. [206], Parry i wsp. [249], Sharpa i wsp. [281] powysiłkowym zmianom stężenia LA towarzyszył w ćwiczeniach testowych istotny wzrost mocy maksymalnej i mocy średniej a w doniesieniach Jacobs i wsp. [177], Nevilla i wsp. [241] oraz Rodasa i wsp. [266] nie stwierdzono istotnych zmian mocy maksymalnej i mocy średniej.

W piśmiennictwie jest niewiele prac opisujących zmiany mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w teście Wingate pod wpływem treningów realizowanych wysiłkami o stałej mocy [244]. Również zmiany momentów sił mięśniowych, charakterystyk siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ) oraz mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych charakterystyk moc-prędkość pod wpływem treningu szybkościowego opisano w nielicznych doniesieniach [129, 206, 208]. W przypadku momentów sił mięśniowych najczęściej badano jak zmienia się wartość siły izometrycznej [29, 30, 204, 205] lub momentu mierzonego w warunkach izokinetycznych (ekscentrycznego i koncentrycznego) po jednorazowym wysiłku na cykloergometrze [200]. W pracy Thorstenssona i wsp. [304] opisano, że 8 tygodniowy trening „sprinterski” na bieżni spowodował przyrost siły izometrycznej oraz mocy w wyskoku CMJ, a w pracy Fidelusa i wsp. [129] wykazano wzrost momentów sił mięśniowych i spadek mocy o -4,5% podczas maksymalnych odbić na urządzeniu treningowym „równia pochyła” po 4-tygodniowym treningu szybkości na cykloergometrze. Dwa tygodnie po zakończeniu treningów moc rozwijana podczas odbić wzrosła nieistotnie o 4,2%.

W literaturze brak jest doniesień opisujących zmianę mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ i SJ pod wpływem treningu wykonywanego na cykloergometrze, mimo że maksymalny wyskok na platformie dynamometrycznej jest często używany do oceny maksymalnych wartości cech szybkościowo-siłowych kończyn dolnych. Spotyka się jedynie prace, w których stwierdzono występowanie istotnych zależności między mocą maksymalną rozwijaną na cykloergometrze a mocą kończyn dolnych [76, 97, 98, 109] i wysokością uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskoku CMJ [109, 321] i SJ [158]. Można, więc sądzić, że jeżeli po treningu na cykloergometrze wzrasta moc maksymalna rozwijana w teście Wingate i/lub obliczana z zależności  $P-v$  to również powinna wzrosnąć moc maksymalna mierzona w wyskokach na platformie dynamometrycznej.

W pracach Woolforda i wsp. [338], Żołądzia [344], Żołądzia i wsp. [345] stwierdzono, że częstość pedałowania w zakresie 40-100 obrotów/min nie wpływa na wartości  $V_{O_2max}$  otrzymanego w testach stopniowanych. Również moce generowane podczas pracy z rytmem pedałowania 60, 80 i 100 obrotów/min nie różniły się istotnie [344]. W pracy McNaughtona i Thomasa [231] w teście stopniowanym

niezależnie od częstości pedałowania (50, 90 i 110 obrotów/min) otrzymane wartości  $\dot{V}O_{2\max}$  nie różniły się istotnie a największą moc rozwinięto przy 50 obrotach/min, zaś najmniejszą przy 110 obrotach/min. W pracy Żołądzia i wsp. [346]  $\dot{V}O_{2\max}$  otrzymane w teście stopniowanym wykonanym z dwoma częstościami pedałowania 60 i 120 obrotów/min było takie same, ale rozwijane moce różniły się istotnie (293 i 223 W, odpowiednio). McNaughton i Thomas [231] zalecali dla jazdy wytrzymałościowej niższą częstość pedałowania, natomiast Żołądź [344] sugerował, że wybór wysokich częstości podczas wysiłków o dużej mocy jest korzystniejszy w porównaniu z małymi częstościami.

W cytowanych pracach treningi szybkościowe realizowano wysiłkami maksymalnymi na cykloergometrze z obciążeniem 7,5% ciężaru ciała a w treningach wytrzymałościowych z użyciem wysiłków ciągłych lub o stałej mocy badani pedałowali z częstością 50-60 obrotów/min. Brak jest doniesień opisujących wpływ częstości pedałowania na potreningowe zmiany momentów sił mięśniowych, charakterystyk siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ), mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych charakterystyk moc-prędkość, mocy średniej i mocy maksymalnej rozwijanej w teście Wingate oraz mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała.

### 3.2. Cele, założenia, hipotezy

#### *Cele*

Dotychczasowe dane z przeglądu piśmiennictwa dowodzą, że zmiany biochemiczne w mięśniach oraz zmiany wartości rozwijanej siły i mocy zachodzące pod wpływem treningu zależą od rodzaju treningu, intensywności wykonywanych ćwiczeń i długości przerw odpoczynkowych. Dostępne wyniki wskazują, że trening wytrzymałościowy powoduje głównie adaptacje w metabolizmie tlenowym, podczas gdy trening szybkościowy wywołuje wzrost aktywności enzymów metabolizmu beztlenowego oraz zwiększenie zawartości substratów energetycznych w mięśniach. W literaturze spotyka się również nieliczne doniesienia dotyczące poprawy wydolności aerobowej i/lub  $\dot{V}O_{2\max}$  pod wpływem treningu szybkościowego (Tabela 3). Jednak uzyskane wyniki dotyczące tego zagadnienia są często sprzeczne. Metaboliczny mechanizm wyjaśniający wzrost mocy maksymalnej podczas krótkich, maksymalnych wysiłków nie jest do końca poznany. W literaturze spotyka się rozbieżne rezultaty dotyczące zmian mocy mięśni kończyn dolnych występujących po różnych rodzajach treningów na cykloergometrze z użyciem krótkich wysiłków o wysokiej intensywności oraz treningów realizowanych wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy. Dane z piśmiennictwa wskazują, że wzrost stężenia kwasu mlekowego po wysiłku maksymalnym jest przejawem adaptacji do treningu o wysokiej intensywności natomiast po treningu o małej

intensywności stężenie kwasu mlekowego obniża się. W niektórych pracach powysiłkowym zmianom stężenia LA towarzyszył w ćwiczeniach testowych istotny wzrost mocy maksymalnej i mocy średniej a w innych doniesieniach nie stwierdzono istotnych zmian mocy. W literaturze brak jest doniesień opisujących zmianę mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ i SJ pod wpływem treningu wykonywanego na cykloergometrze. Nie znaleziono również doniesień opisujących wpływ częstości (prędkości) pedałowania na potreningowe zmiany momentów sił mięśniowych, charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość oraz mocy mięśni kończyn dolnych rozwijanej w testach na cykloergometrze i platformie dynamometrycznej.

Stąd ważnym jest zbadanie jak treningi na cykloergometrze realizowane wysiłkami maksymalnymi i równoważnymi wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W wpływają na zmiany:

- maksymalnych momentów sił mięśniowych,
- mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ,
- mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,
- powysiłkowych stężeń LA,
- charakterystyk siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ),
- oraz mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności  $P-v$ .

Ponadto postanowiono określić czy intensywność wysiłków i rytm pedałowania mają istotny wpływ na zmiany wyżej wymienionych parametrów.

*Celem II części pracy było:*

- określenie wpływu treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi różniącymi się intensywnością (częstością pedałowania) na zmiany: maksymalnych momentów sił mięśniowych, mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ (counter movement jump) i SJ (squat jump) na platformie dynamometrycznej, mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanych w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym na cykloergometrze, powysiłkowych maksymalnych stężeń kwasu mlekowego we krwi kapilarnej, charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość mięśni kończyn dolnych oraz mocy maksymalnej obliczanej z zależności moc-prędkość,
- określenie wpływu treningów realizowanych wysiłkami równoważnymi o stałej mocy 250 W i różnej częstości pedałowania na cykloergometrze na zmiany: maksymalnych momentów sił mięśniowych, mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ i SJ na platformie dynamometrycznej, mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanych w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym, powysiłkowych maksymalnych stężeń kwasu mlekowego we krwi kapilarnej, charakterystyk siła-

prędkość i moc-prędkość mięśni kończyn dolnych oraz mocy maksymalnej obliczanej z zależności moc-prędkość,

- porównanie skuteczności treningów realizowanych na cykloergometrze wysiłkami maksymalnymi z treningami na cykloergometrze złożonymi z wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W.

### **Założenia**

1. Wysiłki równoważne są to wysiłki o tej samej wartości rozwijanej mocy (intensywności) i wykonanej pracy (objętości).
2. Za składowe obciążenia treningowego przyjmuje się wartości wykonanej pracy (objętość), mocy (intensywność) rozwijanej podczas treningu (serii, ćwiczenia, jednostki treningowej) i czasu przerw między seriami (ćwiczeniami).
3. Regulacja mocy zachodzić będzie przez zmiany jej składowych: siły (określonej wielkością ciężaru zawieszzonego na szalce cykloergometru) i prędkości (częstości pedałowania).
4. Objętość treningu jest mierzona wartością pracy mechanicznej wykonanej podczas wysiłków na cykloergometrze.
5. Zmiany cech fizycznych po treningach złożonych z wysiłków maksymalnych o tej samej objętości zależą od intensywności (częstości pedałowania).
6. Zmiany cech fizycznych po treningach złożonych z równoważnych wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W zależą od częstości pedałowania.
7. Cykl treningowy trwający 4 tygodnie (4 razy w tygodniu) jest wystarczającym bodźcem do wywołania zmian cech fizycznych i reakcji fizjologicznych organizmów ćwiczących.

### **Hipotezy**

#### **I. Intensywność (częstość pedałowania) wysiłków maksymalnych wpływa na rezultaty testów kontrolnych**

1. Trening na cykloergometrze złożony z wysiłków maksymalnych wykonywanych z obciążeniem 10% ciężaru ciała (grupa M10) w porównaniu z treningiem realizowanym z obciążeniem 5% BW (grupa M5) spowoduje większe zmiany:
  - momentów sił mięśniowych,
  - mocy maksymalnej i średniej rozwijanej podczas wyskoków CMJ i SJ na platformie tensometrycznej,
  - mocy maksymalnej i średniej generowanej podczas 30-sekundowego wysiłku maksymalnego na cykloergometrze,
  - mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk  $P-v$  wyznaczanych w 10-sekundowych wysiłkach maksymalnych na cykloergometrze.
2. Trening z obciążeniem 10% BW bardziej rozwija moc przez zwiększenie siły (obciążenia) na końcu krzywej  $F-v$  dla dużych wartości siły i małych prędkości a trening z obciążeniem 5% BW bardziej rozwija moc przez zwiększenie



prędkości zmieniając koniec krzywej zależności  $F-v$  dla małych sił (obciążeń) i dużych prędkości.

3. W treningach złożonych z wysiłków maksymalnych występuje efekt uczenia (i/lub tzw. swoistości obciążenia) tzn. w grupie M10 badani najbardziej poprawią rezultaty w wysiłku maksymalnym 10-s z obciążeniem 10% BW a w grupie M5 w wysiłku maksymalnym 10-s z obciążeniem 5% BW.

## **II. Częstota pedałowania w wysiłkach równoważnych o stałej mocy 250 W wpływa na końcowy rezultat testów kontrolnych.**

1. Szybszy rytm pedałowania (80 obrotów/min) w treningu złożonym z wysiłków równoważnych o stałej mocy 250 W (grupa W80) w porównaniu z treningiem realizowanym wysiłkami o stałej mocy 250 W w wolniejszym rytmie (45 obrotów/min – grupa W45) spowoduje większe zmiany:
  - momentów sił mięśniowych,
  - mocy maksymalnej i średniej rozwijanej podczas wyskoków CMJ i SJ na platformie tensometrycznej,
  - mocy maksymalnej i średniej generowanej podczas 30-sekundowego wysiłku maksymalnego na cykloergometrze,
  - mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk  $P-v$  wyznaczanych w 10-sekundowych wysiłkach maksymalnych na cykloergometrze.

## **III. Intensywność treningów wpływa na rezultaty testów kontrolnych**

1. Trening na cykloergometrze złożony z wysiłków maksymalnych w porównaniu z treningiem realizowanym wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W spowoduje większe zmiany:
  - momentów sił mięśniowych,
  - mocy maksymalnej i średniej rozwijanej podczas wyskoków CMJ i SJ na platformie tensometrycznej,
  - mocy maksymalnej i średniej generowanej podczas 30-sekundowego wysiłku maksymalnego na cykloergometrze,
  - mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk  $P-v$  wyznaczanych w 10-sekundowych wysiłkach maksymalnych na cykloergometrze.

### **3.3. Materiał i metody**

Zgodnie z wymogami Deklaracji Helsińskiej uczestnicy byli poinformowani o celu badań i metodyce postępowania oraz możliwości rezygnacji z udziału w eksperymencie na dowolnym etapie realizacji badań. Uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w eksperymencie. Badania uzyskały akceptację Senackiej

Komisji Etyki Badań Naukowych Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie.

### 3.3.1. Materiał

W badaniach wzięło udział 48 nietreningujących wyczynowo studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, których podzielono na cztery 12-osobowe grupy. Zaprezentowano wyniki tylko tych osób, które wykonały wszystkie pomiary niezbędne do realizacji poszczególnych celów drugiej części pracy. Charakterystykę badanych grup zamieszczono w tabeli 4. Pierwsza grupa M10 ( $n = 9$ ) wykonywała maksymalne wysiłki z obciążeniem 10% ciężaru ciała (BW). Druga grupa M5 ( $n = 11$ ) wykonywała maksymalne wysiłki z obciążeniem 5% BW. Trzecia grupa W80 ( $n = 11$ ) wykonywała 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania 80 obrotów/min. Czwarta grupa W45 ( $n = 12$ ) wykonywała 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania 45 obrotów/min. Pod względem cech antropometrycznych grupy nie różniły się istotnie.

Tabela 4. Charakterystyka badanych grup (średnie $\pm$ SD)

Grupy	Wiek [lata]	Wysokość ciała [cm]	Masa ciała [kg]
M10 ( $n = 9$ )	22,2 $\pm$ 1,8	178,1 $\pm$ 6,5	77,8 $\pm$ 10,5
M5 ( $n = 11$ )	22,5 $\pm$ 0,9	180,7 $\pm$ 7,6	78,0 $\pm$ 11,1
W80 ( $n = 11$ )	23,3 $\pm$ 1,1	182,8 $\pm$ 7,9	80,3 $\pm$ 12,1
W45 ( $n = 12$ )	22,7 $\pm$ 1,4	182,1 $\pm$ 6,5	79,7 $\pm$ 9,6

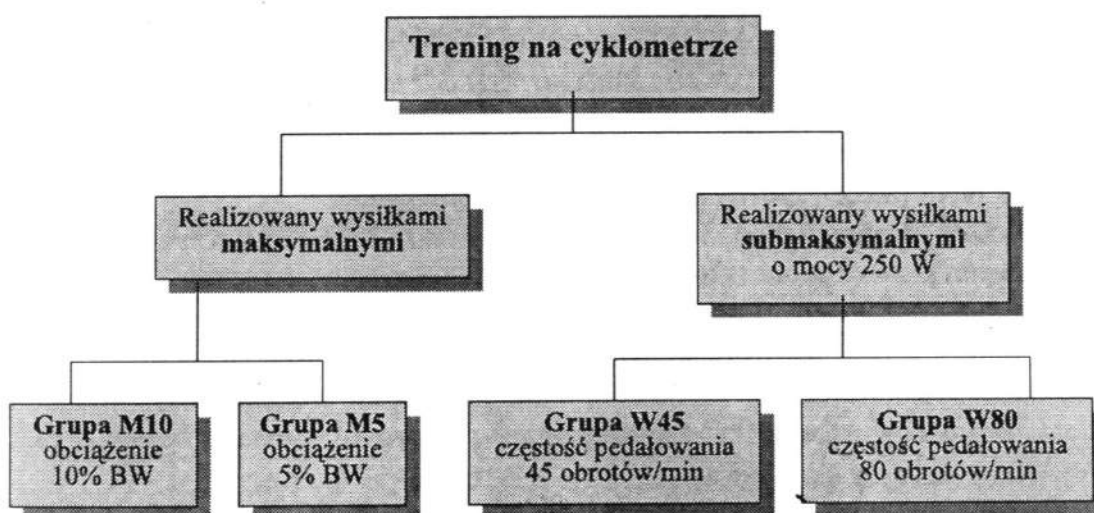
Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45.

### 3.3.2. Przebieg eksperymentu

Doboru wysiłków maksymalnych i submaksymalnych o stałej mocy 250 W dokonano na podstawie przeglądu piśmiennictwa [7, 102, 113, 114, 129, 177, 206, 208, 209, 231, 244, 249, 266, 296, 338, 344, 345, 346], rezultatów pilotażowych badań własnych [66, 69, 73, 77, 78, 246] oraz wyników uzyskanych w I części pracy. Dla treningu realizowanego równoważnymi wysiłkami o stałej mocy 250 W przyjęto wysiłki różniące się istotnie częstością pedałowania (40 i 80 obrotów/min) a nie różniące się istotnie  $V_{O_2net}$  i sprawnością mechaniczną. Ponieważ część uczestników na pierwszym treningu nie była w stanie wykonać treningowej serii 5 wysiłków o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania 40 obrotów/min lub

utrzymać zadanej częstości pedałowania (pedałowała szybciej) to zmodyfikowano trening zwiększając częstość pedałowania do 45 obrotów/min. Dla treningu złożonego z wysiłków maksymalnych zastosowano obciążenie 5 i 10% BW różniące się istotnie częstością pedałowania i rozwijaną mocą a nie różniące się istotnie kosztem energetycznym i sprawnością mechaniczną. Schemat przebiegu eksperymentu przedstawiono na rycinie 5.

Przed rozpoczęciem eksperymentu wszyscy uczestnicy zapoznali się z protokołem badań, a badani zakwalifikowani do grup M10 i M5 wykonali 30-sekundowy wysiłek maksymalny z obciążeniem 7,5% BW na cykloergometrze Monark 824E (Szwecja) wg standardowej metodyki opisaney w pracy Inbara i wsp. [174].



Rycina 5. Schemat przebiegu eksperymentu

Wszyscy badani grup M10 i M5 przez 4 tygodnie, 4 razy w tygodniu, wykonywali trening na cykloergometrze Monark 824E (Szwecja), połączonym z komputerem z oprogramowaniem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Test i treningi wykonywano w pozycji siedzącej, bez wstawania na pedały, rozpoczynając jazdę z nieruchomej pozycji. Stopy przymocowano paskami do pedałów. Uczestników eksperymentu słownie zachęcano do osiągnięcia jak najszybciej maksymalnej prędkości i utrzymania jej do końca wysiłków. Za pomocą programu „MCE” dokonywano pomiarów i obliczeń mocy maksymalnej, wielkości wykonanej pracy oraz czasów pracy i wypoczynku. Pojedynczy trening, z wyjątkiem pierwszego, obejmował:

- grupa M10 – 5 maksymalnych wysiłków z obciążeniem 10% BW, w których badani wykonali w pierwszym 100% pracy ustalonej uprzednio w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym z obciążeniem 7,5% BW ( $19,356 \pm 2,576$  kJ), a w każdym z pozostałych czterech wysiłków maksymalnych 50% tej pracy ( $4 \times 9,678 \pm 1,288$  kJ). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty.

- grupa M5 – 5 maksymalnych wysiłków z obciążeniem 5% BW, w których badani wykonali w pierwszym 100% pracy ustalonej uprzednio w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym z obciążeniem 7,5% BW ( $19,158 \pm 2,302$  kJ), a w każdym z pozostałych czterech wysiłków 50% tej pracy ( $4 \times 9,579 \pm 1,151$  kJ). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty.

Na pierwszym treningu badani obu grup wykonali 5 maksymalnych wysiłków przedzielonych 2 minutową przerwą, w których w każdym wykonali 100% uprzednio ustalonej pracy.

W grupach M10 i M5 celem takiego doboru obciążenia zawieszzonego na szalce cykloergometru było uzyskanie różnego oporu zewnętrznego, wpływającego bezpośrednio na częstość pedałowania podczas maksymalnego wysiłku; obciążenie 10% BW powodowało niższą średnią częstość pedałowania w porównaniu z obciążeniem 5% BW. Ponieważ w obu grupach wartości wykonanej pracy treningowej były takie same, to takie postępowanie wymuszało różną intensywność treningu. Badani zostali poinformowani, że rezultaty kolejnych kontrolnych testów Wingate nie będą modyfikować zadanego obciążenia treningowego.

Wszyscy badani zakwalifikowani do grup W80 i W45 przez 4 tygodnie, 4 razy w tygodniu, wykonywali trening na cykloergometrze Monark 824E (Szwecja), połączonym z komputerem z oprogramowaniem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). W czasie treningów zadaniem badanych było utrzymanie stałej częstości pedałowania. Za pomocą programu „MCE” dokonywano pomiarów i obliczeń mocy, wartości wykonanej pracy oraz czasów pracy i wypoczynku. Pojedynczy trening obejmował:

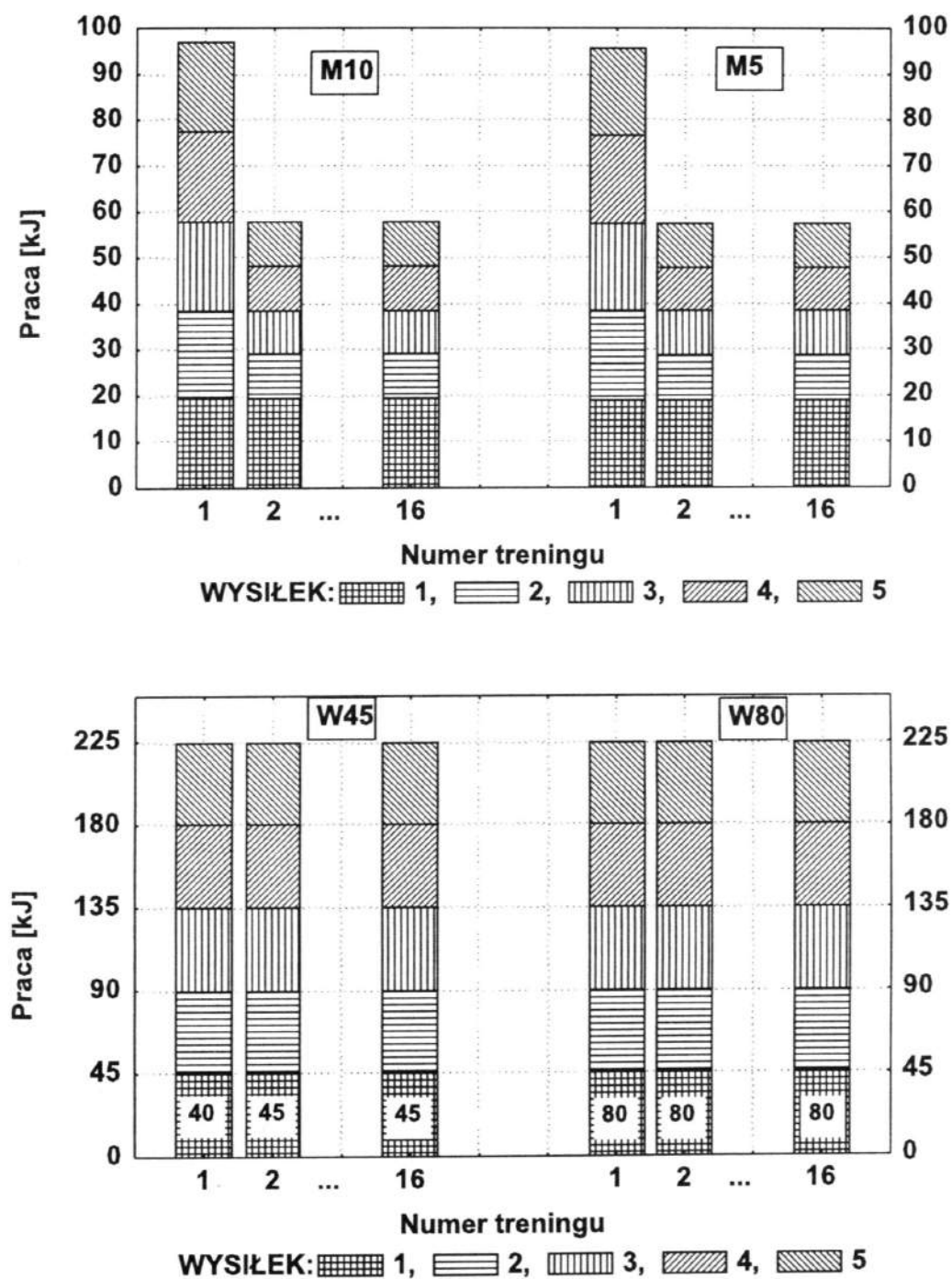
- grupa W80 – pięć wysiłków 3-minutowych o stałej mocy 250 W i wykonanej pracy ok. 45 kJ (częstość pedałowania 80 obrotów/min, obciążenie 31 N zawieszzone na szalce cykloergometru, które odpowiadało  $3,9 \pm 0,6\%$  BW). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty;
- grupa W45 – pięć wysiłków 3-minutowych o stałej mocy 250 W i wykonanej pracy ok. 45 kJ (częstość pedałowania 45 obrotów/min, obciążenie 55 N zawieszzone na szalce cykloergometru, które odpowiadało  $7,0 \pm 0,8\%$  BW). Przerwa między wysiłkami wynosiła 2 minuty.

Ponieważ w obu grupach wartości wykonanej pracy i mocy treningowej były takie same, to częstość pedałowania różnicowała odpowiedź organizmu na trening.

Na rycinie 6 przedstawiono układ obciążeń treningowych. Przez cały okres trwania eksperymentu wszyscy badani nie wykonywali żadnych dodatkowych treningów oraz nie stosowali suplementacji żywieniowej.

W każdy poniedziałek, przed rozpoczęciem treningów (0), przez cztery tygodnie treningów (1-4) i dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (5-6), wykonywano pomiary kontrolne:

- maksymalnych momentów sił mięśniowych,



Rycina 6. Układ obciążeń w kolejnych dniach treningu (w ramce słupków podano zadaną częstość pedałowania podczas wysiłków o stałej mocy 250 W)

- mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ i SJ (SJ tylko grupy M10 i M5) na platformie dynamometrycznej,
- mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,
- charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość mięśni kończyn dolnych.

Oznaczeń powysiłkowych maksymalnych stężeń kwasu mlekowego we krwi kapilarnej (LA) dokonano po teście Wingate w poniedziałek przed rozpoczęciem treningów (0), po dwóch (2) i czterech tygodniach treningu (4) i w dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (6). Dodatkowo zmierzono stężenie kwasu mlekowego przed rozpoczęciem 16 treningu i po jego zakończeniu we wszystkich grupach.

Wszystkie pomiary wykonywano w godzinach rannych.

### 3.3.3. *Pomiar maksymalnych momentów sił mięśniowych w warunkach statyki*

W statyce (długość mięśnia nie zmienia się), wykorzystując warunek równowagi dźwigni kostnej, można wyznaczyć wartość działającego w stawie wypadkowego momentu sił mięśniowych ( $M_m$ ), mierząc wartość równoważącego go momentu zewnętrznego ( $M_z$ ) [42].

Ponieważ:

$$M_m = F_m \cdot r_m, \text{ a } M_z = F_z \cdot r_z, \text{ to } M_m = F_z \cdot r_z \quad (6)$$

gdzie:  $M_m$  – moment sił mięśniowych [N·m],  
 $M_z$  – moment sił zewnętrznych [N·m],  
 $F_z$  – siła zewnętrzna [N],  
 $F_m$  – siła mięśniowa [N],  
 $r_z$  – ramię siły zewnętrznej [m],  
 $r_m$  – ramię siły mięśniowej [m].

Pomiary momentów sił mięśni ( $M_m$ ) zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym i kolanowym wykonano na specjalnym stanowisku [24]. Pomiar momentów sił w stawie kolanowym odbywał się w pozycji siedzącej (Ryc. 7) a w stawie biodrowym w leżeniu przodem (Ryc. 8). Badanego stabilizowano pasami w obu pozycjach pomiarowych. Pomiary wykonano dla położenia kątownych  $90^\circ$  w stawie biodrowym i  $90^\circ$  w kolanowym podczas obu prób.

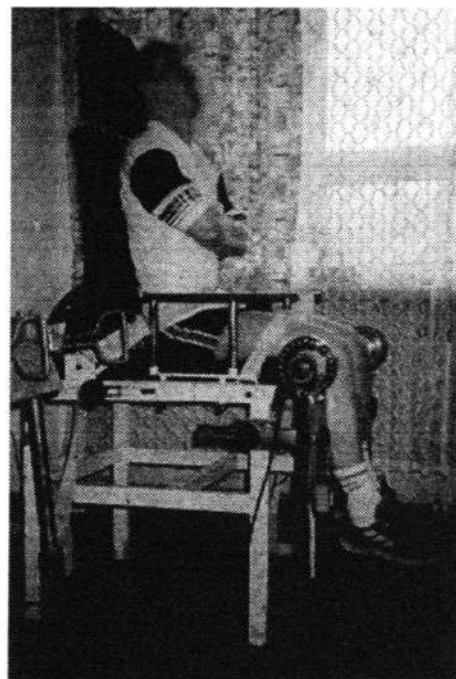
Pomiar momentów sił mięśni zginających podeszwowo stopę zrobiono na specjalnym stanowisku [339]. Badany siedział na fotelu w takiej pozycji, aby kąty w stawach biodrowym, kolanowym i skokowo-goleniowym wynosiły  $90^\circ$  (Ryc. 9). Mierzoną kończynę dolną stabilizowano metalową obejmą.

Wyniki wszystkich pomiarów odczytywano na wskaźniku cyfrowym wyskalowanym w jednostkach momentu siły. Ze zmierzonych wartości momentów sił mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym i kolanowym obliczono wskaźnik „zginacze-prostowniki” [312, 314].

Maksymalny błąd toru pomiarowego związany z pomiarem siły wynosi poniżej 1% [24]. Całkowity błąd względny toru pomiarowego wynosi 1,5% [130]. Całkowity błąd związany z pomiarem maksymalnych momentów sił mięśniowych nie przekracza 2,0% w przypadku zginania i prostowania kończyny w stawie kolanowym i biodrowym oraz 2,5% dla mięśni zginaczy podszwowych stopy. Maksymalny względny błąd powtarzalności, wyrażony wskaźnikiem zmienności wynosi od 1,8% (mięśnie prostujące kończynę w stawie kolanowym) do 4,9% (mięśnie zginające kończynę w stawie biodrowym) [181] a dla mięśni zginaczy podszwowych stopy 2,7%.

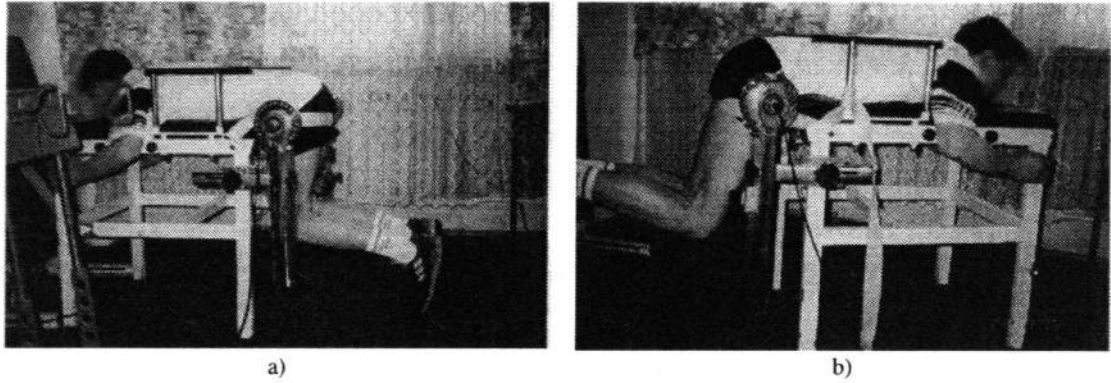


a)

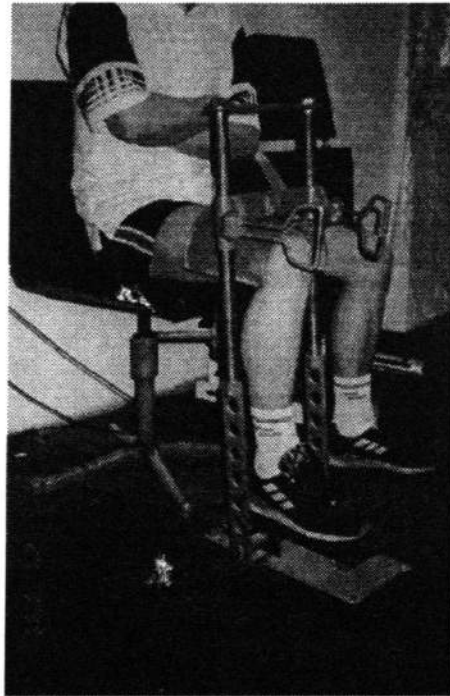


b)

Rycina 7. Standardowa pozycja badanego podczas pomiarów momentów sił mięśniowych mięśni prostujących (a) i zginających (b) kończynę dolną w stawie kolanowym



Rycina 8. Standardowa pozycja badanego podczas pomiarów momentów sił mięśniowych mięśni prostujących (a) i zginających (b) kończynę dolną w stawie biodrowym



Rycina 9. Standardowa pozycja badanego podczas pomiarów momentów sił mięśni zginających podeszwowo stopę



### 3.3.4. Pomiar mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej

Pomiar mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ przeprowadzono na platformie dynamometrycznej ze wzmacniaczem firmy Kistler Instrumente AG Winterthur Switzerland (Typ 9865 B 1 Y28). Wzmacniacz połączono za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego z komputerem klasy IBM PC P100 z oprogramowaniem „MVJ v.1.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Stosując model fizyczny, w którym układ masy ciała człowieka odbijającego się pionowo od platformy dynamometrycznej zredukowano do punktu materialnego, na który działają składowe pionowe siły zewnętrznych – siła ciężkości ciała i pionowa składowa siła reakcji platformy. Z zarejestrowanej siły reakcji podłoża wyliczono następujące parametry wyskoku: moc maksymalną ( $P_{\max}$ ) i średnią ( $P_m$ ), maksymalną wysokość uniesienia ( $h$ ) i obniżenia ( $k$ ) środka masy ciała przed odbiciem [20, 23, 54, 295].

Wypadkowa siła  $F(t)$  działająca na punkt materialny wyrażona jest wzorem

$$F(t) = R(t) - Q \quad (7)$$

gdzie:  $F$  – wypadkowa siła [N],

$R$  – składowa pionowa siły reakcji platformy dynamometrycznej [N],

$t$  – czas [s],

$Q$  – ciężar ciała ( $Q = m \cdot g$ ) [N],

$m$  – masa punktu materialnego [kg],

$g$  – przyspieszenie ziemskie [ $m/s^2$ ].

Równanie ruchu dla przyjętego do analizy modelu opisano równaniem

$$\frac{d^2 H}{dt^2} = \frac{F(t)}{m} \quad (8)$$

gdzie:  $H$  – położenie pionowe punktu materialnego [m].

Po jednokrotnym scałkowaniu równania (8) uzyskujemy równanie (9) opisujące przebieg prędkości punktu materialnego  $v(t)$  z warunkiem początkowym dla  $t = t_{ph}$ :  $v(t) = v_p$

$$v(t) = v_p + \frac{1}{m} \int_{t_{ph}}^t F(t) dt \quad (9)$$

gdzie:  $v(t)$  – prędkość punktu materialnego [ $m \cdot s^{-1}$ ].

Po dwukrotnym scałkowaniu równania (8) uzyskujemy równanie (10) opisujące przebieg położenia punktu materialnego z warunkami początkowymi dla  $t = t_{ph}$ ;  $v(t) = v_p$ ,  $H(t) = H_p$ ,

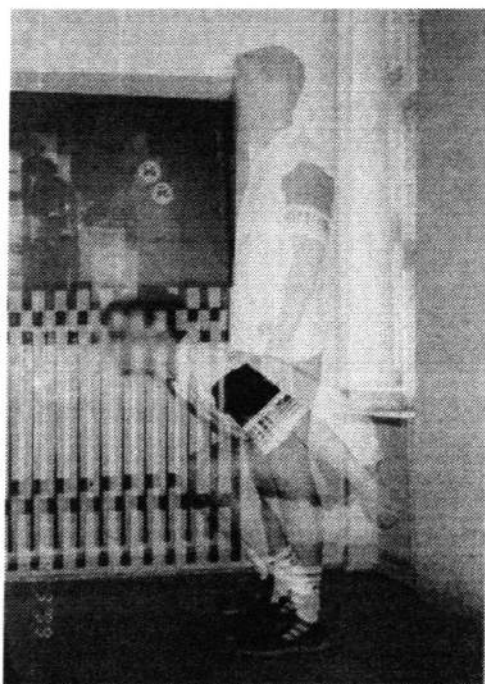
$$H(t) = H_p + \int_{t_{ph}}^t v_p dt + \frac{1}{m} \int_{t_{ph}}^t \left[ \int_{t_{ph}}^t F(t) dt \right] dt \quad (10)$$

Przebieg rozwijanej mocy opisano wzorem

$$P(t) = F(t) \cdot v(t) \quad (11)$$

gdzie:  $P$  – moc [W].

Każdy badany wykonał cztery maksymalne wysoki pionowe, dwa z pozycji wyprostowanej poprzedzone ruchem ciała w dół (CMJ) i dwa z półprzysiadu nie poprzedzone zamachem (SJ – kąt w stawie kolanowym ok.  $90^\circ$ , badany trzymał ręce na biodrach). Przerwa odpoczynkowa między wyskokami wynosiła trzy minuty (Ryc. 10). Do analizy wybierano wyskok, w którym osiągnięto najwyższą wysokość uniesienia środka masy ciała. Kierowano się również zasadą by porównywane wyskoki CMJ były wykonywane z podobną głębokością zamachu u danego badanego. Wyskok SJ uznawano za prawidłowy, jeżeli przed odbiciem nie było obniżenia środka masy ciała ( $k = 0$ ).



a)



b)

Rycina 10. Standardowa pozycja badanego podczas maksymalnego wyskoku pionowego z pozycji wyprostowanej poprzedzonego ruchem ciała w dół (a) i z półprzysiadu nie poprzedzonego zamachem (b)

Maksymalny błąd toru pomiarowego wynosi poniżej 0,5% [194]. Częstotliwość próbkowania przebiegu siły reakcji wynosi 400 Hz. Wartość błędu pomiaru poszczególnych parametrów wysokości szacuje się następująco: moc maksymalna – 3,3%, wysokość uniesienia środka masy ciała – 4,5%. Maksymalny względny błąd powtarzalności, wyrażony wskaźnikiem zmienności wynosi dla: mocy maksymalnej i średniej odpowiednio 3,8 i 3,4% a wysokości uniesienia środka masy ciała 3,0% [23].

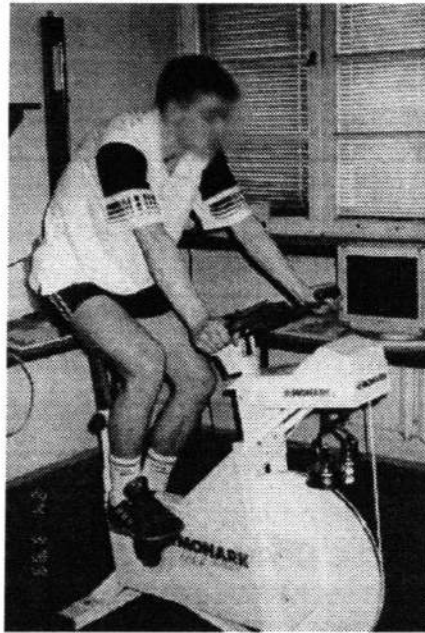
### ***3.3.5. Pomiar mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze***

Pomiar mocy maksymalnej i mocy średniej polegał na wykonaniu, po standardowej rozgrzewce na cykloergometrze i 5-minutowej przerwie odpoczynkowej, maksymalnego 30-sekundowego wysiłku z indywidualnie dobranym obciążeniem, uwzględniającym ciężar ciała badanego. Obciążenie wynosiło 7,5% ciężaru ciała (BW). W badaniach wykorzystano cykloergometr Monark 824 E (Szwecja) połączony z komputerem klasy IBM PC Pentium z programem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Czujniki mocowano na kole zamachowym, które pokonywało dystans 6 m podczas jednego obrotu pedałem (Ryc. 11). Badani, po dobraniu dla siebie odpowiedniej wysokości siodełka i kierownicy, wykonywali test w pozycji siedzącej bez wstawania na pedałach, rozpoczynając jazdę z nieruchomej pozycji ze stopami przymocowanymi paskami do pedałów.

Wysiłek maksymalny wykonywano z pozycji zatrzymanej [214]. Przestrzegano standardowych warunków podczas wysiłku oraz słownie zachęcano badanych do osiągania jak najszybciej maksymalnej częstości pedałowania i utrzymania jej jak najdłużej. Korzystając z oprogramowania „MCE v. 4.0” dokonano pomiarów i obliczeń: mocy średniej ( $P_{m30}$ ), mocy maksymalnej ( $P_{max30}$ ), pracy wykonanej w 30-sekundowym wysiłku ( $W_m$ ) i indeksu zmęczenia (FI) [294].

Pomiar i obliczanie pracy, mocy i prędkości są zgodne z opisem w punkcie 2.3.4. Ponadto, moc średnią ( $P_{m30}$ ) obliczano, jako iloraz wykonanej w teście pracy i czasu trwania wysiłku. FI liczone jako stosunek wartości spadku mocy od uzyskania  $P_{max30}$  do wartości mocy na końcu testu. Zmiany mocy w czasie liczone jako moc średnią w kolejnych 3 sekundowych przedziałach czasu trwania testu. Dodatkowo 30 sekundowy przebieg mocy podzielono na dwa przedziały trwające: pierwsze 10 s –  $P_{m10}$  i pozostałe 20 s –  $P_{m20}$ .

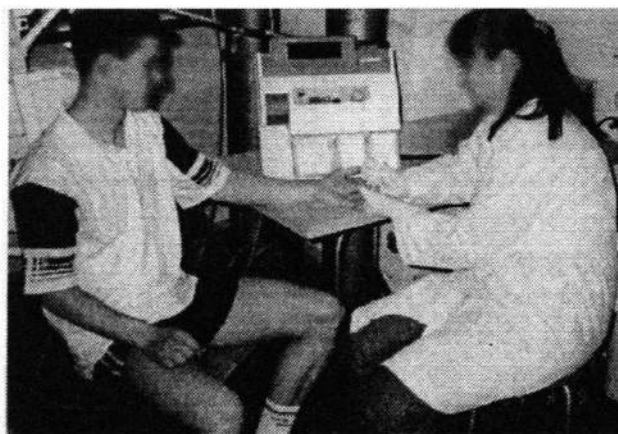
Wartość błędu pomiaru mocy maksymalnej i średniej wynosi kolejno ok. 1,6-2,5% [224, 323] i 1,7-1,8% [323]. Maksymalny względny błąd powtarzalności, wyrażony wskaźnikiem zmienności wynosi dla mocy maksymalnej i średniej odpowiednio 0,94 i 0,98 [174].



Rycina 11. Standardowa pozycja badanego na cykloergometrze

### 3.3.6. Oznaczanie stężenia kwasu mlekowego

W celu oznaczenia stężenia kwasu mlekowego (LA) pobierano krew kapilarną z opuszki palca do heparynowanych kapilarów w spoczynku oraz po wykonaniu 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w 5, 7, 9 i 30 minucie wypoczynku (Ryc. 12). Między pobraniami badani biernie odpoczywali. Kwas mlekowy analizowano używając gotowych zestawów do oznaczeń kwasu mlekowego Lactat Enzymat DRLANGE firmy Dr B. Lange GmbH (Niemcy), w mini fotometrze LP 20 firmy DRLANGE (Niemcy).



Rycina 12. Pobieranie krwi kapilarnej z opuszki palca do heparynowanych kapilarów

### 3.3.7. Wyznaczanie charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych na cykloergometrze

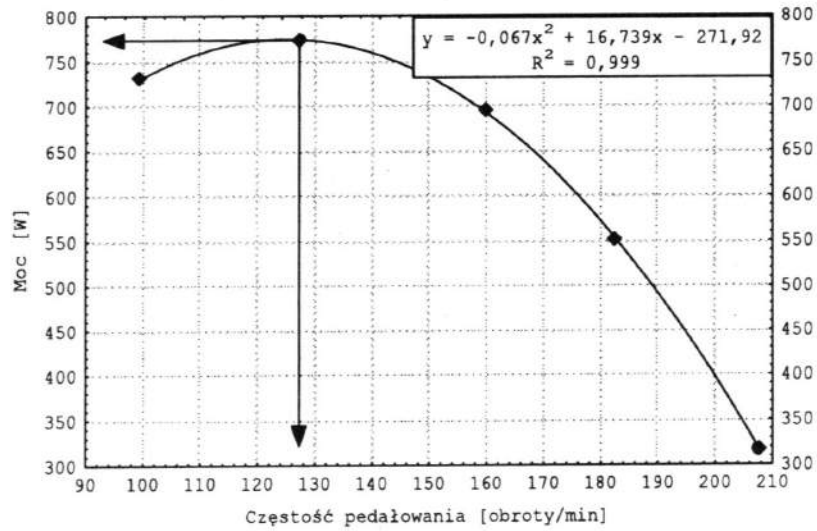
Wyznaczanie charakterystyk siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ) wykonywano na cykloergometrze Monark 824 E (Szwecja) połączonym z komputerem klasy IBM PC Pentium z programem „MCE v. 4.0” („JBA” Zb. Staniak, Polska). Czujniki mocowano na kole zamachowym, które pokonywało dystans 6 m podczas jednego obrotu pedałem. Badani, po ustaleniu dla siebie odpowiedniej wysokości siodełka i kierownicy, wykonywali testy w pozycji siedzącej bez wstawiania na pedały, rozpoczynając jazdę z nieruchomej pozycji ze stopami przymocowanymi paskami do pedałów. Wysiłki maksymalne wykonywano z pozycji zatrzymanej [214].

Badani wykonywali 5 maksymalnych 10-sekundowych wysiłków na cykloergometrze ze wzrastającym obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 2,5, 5, 7,5, 10 i 12,5% ciężaru ciała (BW). Czas przerwy między wysiłkami wynosił 2 minuty. Przestrzegano standardowych warunków podczas wykonania wysiłku oraz słownie zachęcano badanych do osiągnięcia jak najszybciej maksymalnej częstości pedałowania i utrzymania jej jak najdłużej. Korzystając z oprogramowania „MCE v. 4.0” dokonano pomiarów i obliczeń największej mocy rozwiniętej przy danym obciążeniu ( $P_i$ ), gdzie  $i$  – wartość obciążenia oraz prędkości ( $v_i$ ), przy której osiągnięto  $P_i$  [294].

Pomiar i obliczanie pracy, mocy i prędkości są zgodne z opisem w punkcie 2.3.4.

Wartość błędu pomiaru największej mocy przy danym obciążeniu wynosi ok. 1,1-1,8% i jest zgodna z danymi literaturowymi (ok. 1,6-2,5% [224, 323]). Maksymalny względny błąd powtarzalności, wyrażony wskaźnikiem zmienności wynosi 3,0% [101].

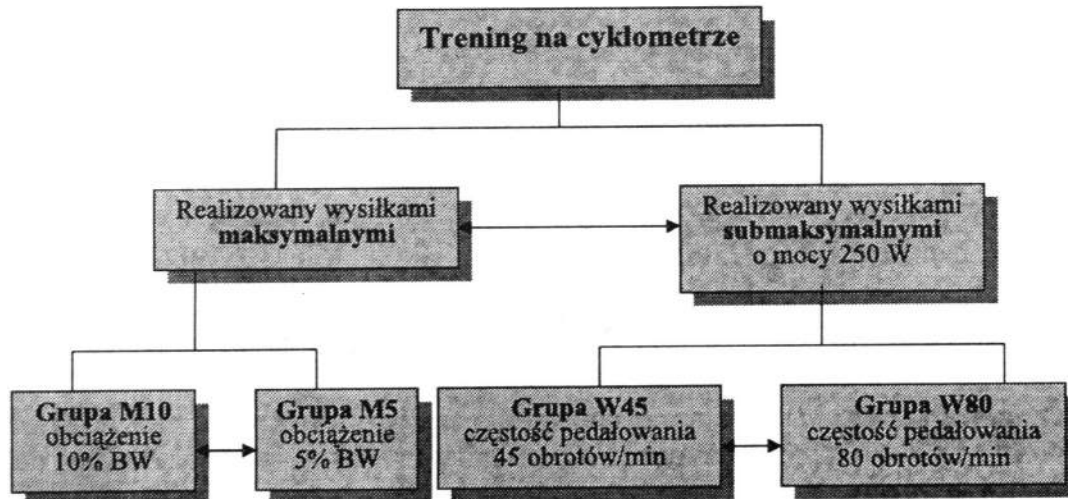
Z otrzymanych w 10-sekundowych wysiłkach maksymalnych wyników, dla każdego badanego wyznaczono zależność siła-prędkość i moc-prędkość w celu określenia indywidualnej mocy maksymalnej ( $P_{max}$ ) i prędkości optymalnej ( $v_o$  – częstość pedałowania, przy której rozwijano moc maksymalną [321]). Moc maksymalną i optymalną prędkość pedałowania obliczono z indywidualnych równań wielomianu drugiego stopnia, którymi opisywano zależność  $P-v$  [18, 69, 71, 74, 165, 192, 207, 208]. Najwyższy punkt krzywej (największą wartość funkcji) definiowano jako moc maksymalną ( $P_{max}$ ), a odpowiadającą jej częstość pedałowania jako prędkość optymalną (Ryc. 13) [208].



Rycina 13. Przykładowa zależność moc-prędkość pedałowania ( $P_i-v_i$ ) otrzymana dla jednego badanego w maksymalnych 10-s wysiłkach na cykloergometrze. Strzałki pokazują maksymalną moc ( $P_{max}$ ) i optymalną prędkość pedałowania ( $v_o$ )

### 3.3.8. Opracowanie statystyczne

Analizę wyników badań wykonano zgodnie z procedurą przedstawioną na rycinie 14.



Rycina 14. Schemat analizy wyników badań

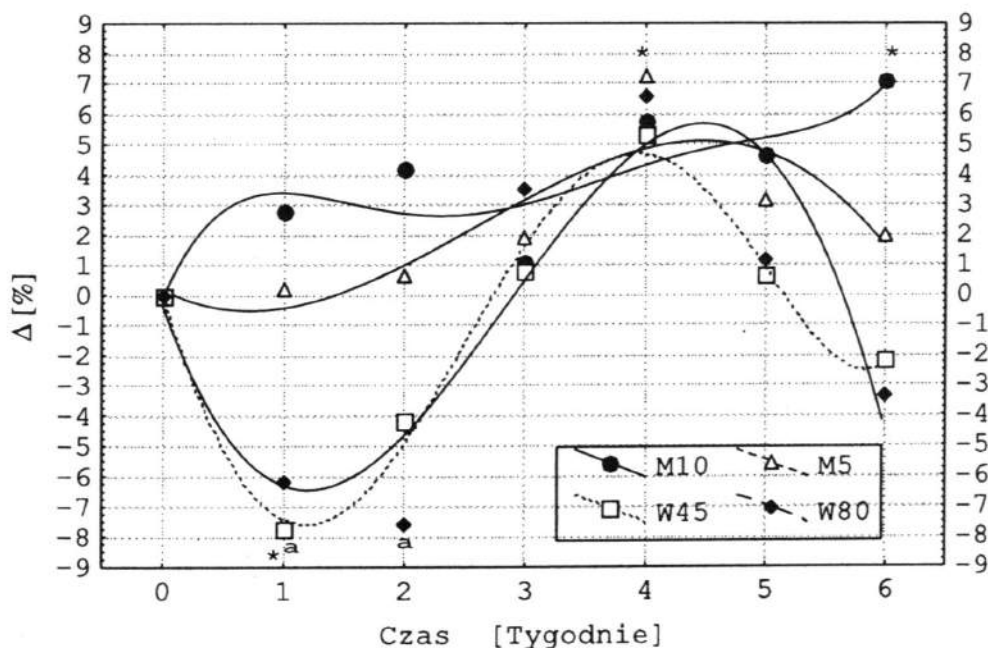
Do porównania wyników badań użyto analizy wariancji ANOVA w układzie z powtarzanimi pomiarami. Istotność różnic między średnimi oceniano post hoc – testem LSD (test najmniej istotnych różnic; least significant difference test). Sto-

pień zależności między mierzonymi wartościami oceniano na podstawie obliczonych współczynników korelacji Pearsona. W przeprowadzonych analizach statystycznych poziom wartości  $p < 0,05$  przyjęto jako istotny. Wszystkie obliczenia wykonano programem STATISTICA™ (v. 5.5, StatSoft, USA).

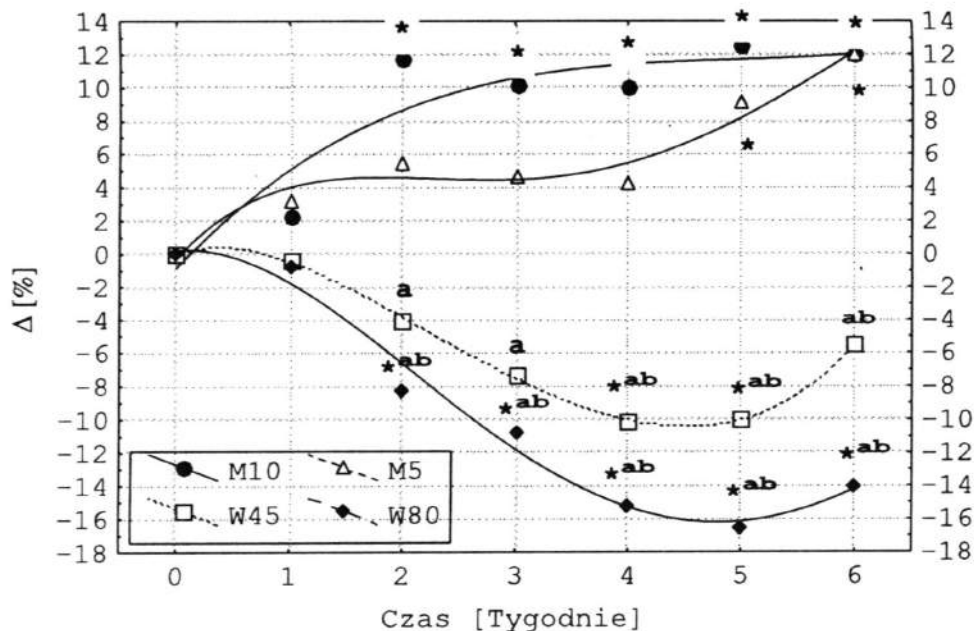
### 3.4. Wyniki

#### 3.4.1. Maksymalne momenty sił mięśniowych

Wyniki badań (średnie  $\pm$  SD) momentów sił mięśniowych ( $M_m$ ) przedstawiono w tabelach 5 i 6 (str. 61-62). Wartości momentów sił mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym (PB) uległy zwiększeniu w grupach M10 o 5,8%, M5 o 7,3%, W80 o 6,6% i W45 o 5,3% po czterech tygodniach treningu. W grupie M10 istotny wzrost  $M_m$  o 7,1% zanotowano po 2 tygodniach od zakończenia treningów. Nie obserwowano istotnych różnic w wartościach momentów sił mięśniowych między grupami. Istotne różnice między grupami M10 a W45, W80 obserwowano dla procentowych zmian momentów sił po 1 i 2 tygodniach treningów (Ryc. 15).



**Rycina 15.** Średnie wartości zmian momentów sił mięśniowych [%] mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$



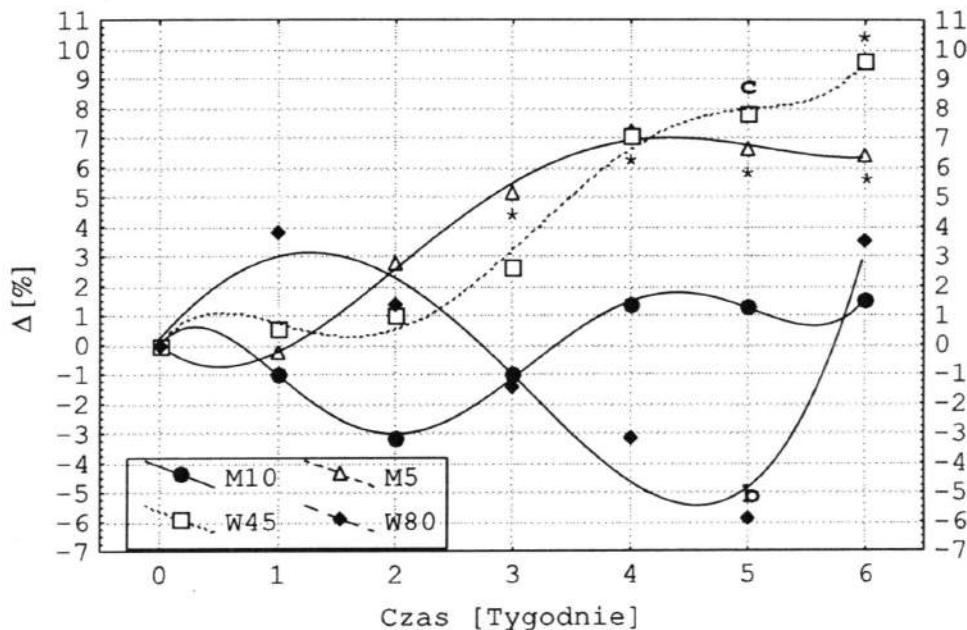
**Rycina 16.** Średnie wartości zmian momentów sił mięśniowych [%] mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objasnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$

Trening na cykloergometrze spowodował istotny statystycznie wzrost wartości (liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań) momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym (ZB) w grupach poddanych wysiłkowi szybkościowemu („sprinterskiemu”) o 12,5% w M10 w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningu i o 12,0% w grupie M5 w drugim tygodniu po zaprzestaniu treningu. W grupach W80 i W45 wykonujących trening z użyciem ćwiczeń o stałej mocy 250 W stwierdzono istotne obniżenie wartości  $M_m$  o –16,0 i –10,2%, odpowiednio. Istotne różnice między grupami: M10 a W45 obserwowano dla ZB w pierwszym tygodniu po zakończeniu treningów, W80 a M10, M5 po 4 tygodniu treningów oraz 1 i 2 tygodniu okresu potreningowego a dla zmian momentów sił wyrażonych w procentach po 4 tygodniu treningów oraz 1 i 2 tygodniu okresu potreningowego między W80, W45 a M10, M5 (Ryc. 16).

Momenty sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym (PK) uległy nieistotnym zmianom w grupach M10 o 1,5% i W80 o –5,9%. W grupie M5 obserwowano istotny wzrost  $M_m$  o 7,2% po czterech tygodniach treningu a w grupie W45 o 9,6% po dwóch tygodniach od zakończenia treningów. Istotne różnice między grupami M5 i W80 obserwowano dla PK w 2 tygodniu



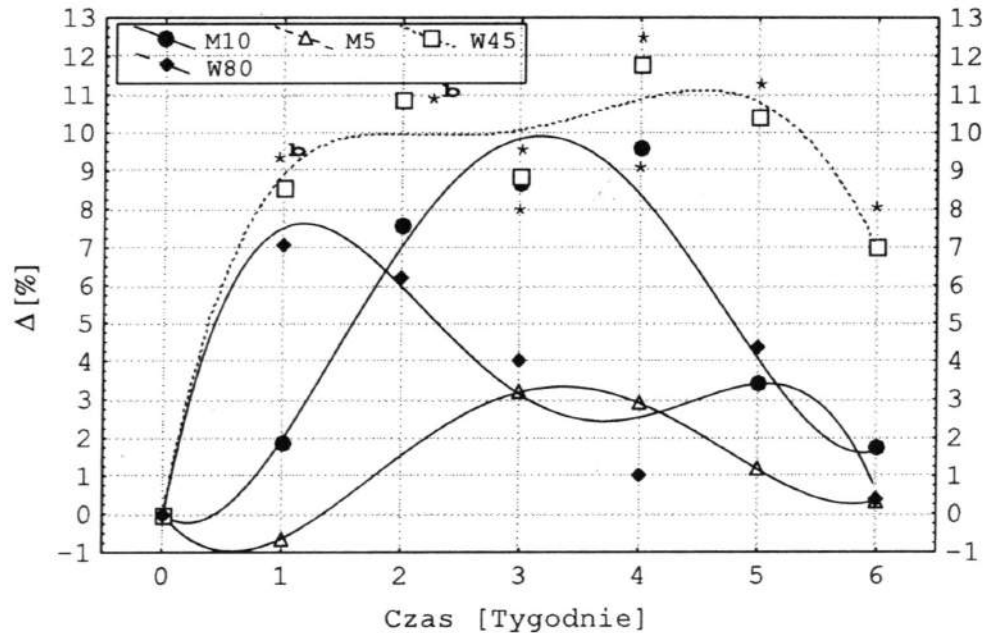
treningów, a dla zmian momentów sił mięśniowych wyrażonych w procentach w 1 tygodniu okresu potreningowego między M5, W45 a W80 (Ryc. 17).



**Rycina 17.** Średnie wartości zmian momentów sił mięśniowych [%] mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ , W80 vs. W45, <sup>c</sup> –  $p < 0,05$

W przypadku momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym (ZK) obserwowano spadek wartości o  $-4,9\%$  w grupie W80 i o  $-6,6\%$  w W45 po czterech tygodniach treningu. Trening na cykloergometrze w grupach M10 i M5 nie spowodował istotnych zmian w wartościach rozwijanych momentów sił mięśniowych.

Momenty sił mięśniowych mięśni zginających podszwowo stopę (ZPS), w porównaniu z wartościami uzyskanymi przed rozpoczęciem treningów, wzrosły istotnie o  $9,6\%$  w grupie M10 i o  $11,8\%$  w W45 po czterech tygodniach treningu (Ryc. 18). Trening na cykloergometrze nie spowodował istotnych zmian w wartościach rozwijanych momentów sił mięśni zginających podszwowo stopę w grupach M5 ( $2,9\%$ ) i W80 ( $4,4\%$ ). Rozwijane wartości momentów sił mięśniowych momentów sił mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym, zginaczy podszwowych stopy nie różniły się istotnie między grupami przez cały okres trwania eksperymentu.



**Rycina 18.** Średnie wartości zmian momentów sił mięśniowych [%] mięśni zginaczy podszwowych stopy liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objasnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotści pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$

Suma momentów sił 5 zespołów mięśniowych (SUMA) uległa istotnemu zwiększeniu o 5,2% w grupie M10 i o 5,1% w grupie M5 po czterech tygodniach treningu. W grupach W80 i W45 obserwowano nieistotne procentowe zmiany  $M_m$  (-3,8% i 2,7%, odpowiednio). Istotne różnice między grupami W80 a M10, M5 obserwowano dla procentowych zmian  $M_m$  po 4 tygodniach treningu oraz po 1 i 2 tygodniu od zakończenia treningów (Ryc. 19).

Wartości wskaźnika „zginacze-prostawniki” uległy istotnemu obniżeniu pod wpływem treningu w grupie W80 i W45 dla stawu biodrowego i w grupie W45 dla stawu kolanowego (Tabela 6). Istotne różnice między grupami M10 a W80, W45 obserwowano po czterech tygodniach treningu i pierwszym tygodniu od zakończenia treningów dla stawu biodrowego.

Tabela 5. Średnie wartości ( $\pm$ SD) momentów sił mięśniowych mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie biodrowym i kolanowym (PB, ZB, PK, ZK, odpowiednio)

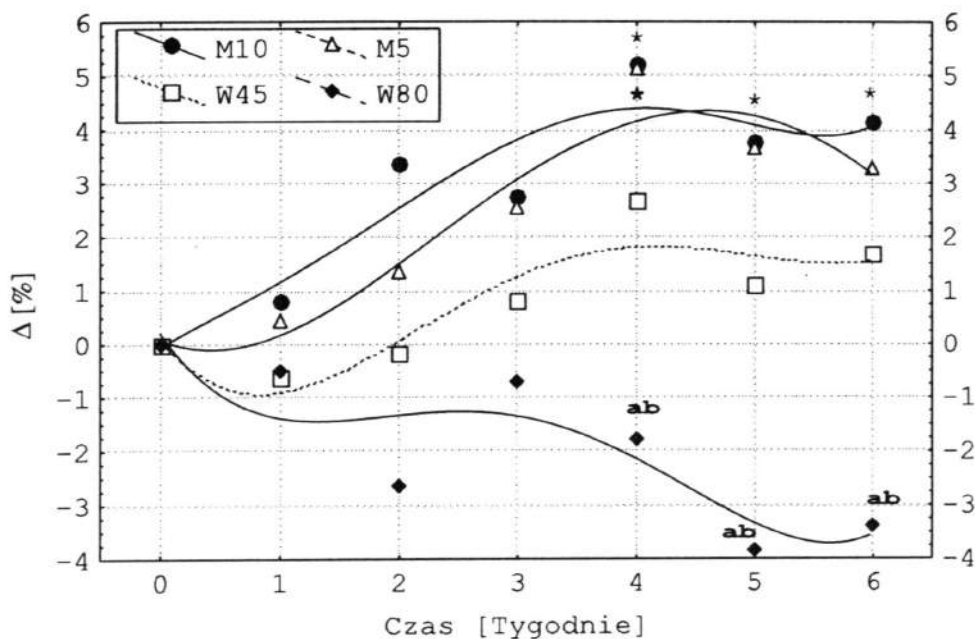
Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
PB [N·m]	M10	331,7 $\pm$ 64,3	343,5 $\pm$ 89,0	347,3 $\pm$ 80,2	337,9 $\pm$ 86,8	353,6* $\pm$ 90,5	350,2 $\pm$ 93,2	356,2* $\pm$ 77,0
	M5	363,0 $\pm$ 59,2	362,9 $\pm$ 64,0	363,9 $\pm$ 54,4	369,0 $\pm$ 63,1	388,8* $\pm$ 72,4	373,2 $\pm$ 65,5	368,0 $\pm$ 61,5
	W80	359,2 $\pm$ 94,6	332,2 $\pm$ 72,3	324,0* $\pm$ 60,9	361,2 $\pm$ 59,8	370,9 $\pm$ 51,8	352,8 $\pm$ 60,5	340,1 $\pm$ 66,3
	W45	358,8 $\pm$ 52,3	330,5* $\pm$ 55,5	341,7 $\pm$ 52,3	360,8 $\pm$ 72,6	376,5 $\pm$ 53,7	360,9 $\pm$ 70,4	351,1# $\pm$ 64,9
ZB [N·m]	M10	160,4 $\pm$ 31,7	161,2 $\pm$ 21,3	175,2* $\pm$ 30,3	173,2* $\pm$ 25,9	171,8 $\pm$ 16,5	176,9* $\pm$ 29,7	175,8* $\pm$ 24,5
	M5	161,6 $\pm$ 29,4	165,9 $\pm$ 33,7	169,1 $\pm$ 27,0	166,0 $\pm$ 25,0	166,5 $\pm$ 30,1	173,2 $\pm$ 25,6	177,6* $\pm$ 27,9
	W80	171,4 $\pm$ 27,2	168,6 $\pm$ 27,7	155,4* $\pm$ 22,8	150,5* <sup>a</sup> $\pm$ 17,1	143,9* <sup>ab</sup> $\pm$ 15,7	141,5* <sup>ab</sup> $\pm$ 19,7	146,8* <sup>b</sup> $\pm$ 35,9
	W45	172,7 $\pm$ 23,2	170,9 $\pm$ 26,3	164,5 $\pm$ 21,3	157,5 $\pm$ 20,5	154,4* $\pm$ 28,1	153,7* <sup>a</sup> $\pm$ 18,7	164,9 $\pm$ 46,1
PK [N·m]	M10	225,3 $\pm$ 39,4	223,6 $\pm$ 45,5	218,7 $\pm$ 43,0	223,4 $\pm$ 46,0	229,8 $\pm$ 51,8	229,3 $\pm$ 49,6	229,3 $\pm$ 46,1
	M5	218,9 $\pm$ 43,1	216,5 $\pm$ 37,6	223,7 $\pm$ 41,7	227,7 $\pm$ 34,7	233,3* $\pm$ 42,2	232,7* $\pm$ 46,4	232,3* $\pm$ 44,8
	W80	252,0 $\pm$ 49,9	255,1 <sup>b</sup> $\pm$ 26,8	250,3 $\pm$ 34,4	244,7 $\pm$ 34,6	238,6 $\pm$ 27,9	233,0 $\pm$ 39,3	256,0 $\pm$ 39,1
	W45	231,3 $\pm$ 40,9	229,4 $\pm$ 30,9	230,9 $\pm$ 37,4	232,8 $\pm$ 40,8	242,6 $\pm$ 26,7	243,3 $\pm$ 25,2	247,4 $\pm$ 29,2
ZK [N·m]	M10	145,1 $\pm$ 32,7	141,5 $\pm$ 36,6	141,0 $\pm$ 35,3	140,0 $\pm$ 37,5	143,6 $\pm$ 30,2	141,9 $\pm$ 29,4	142,6 $\pm$ 29,0
	M5	144,0 $\pm$ 26,3	147,6 $\pm$ 28,5	150,0 $\pm$ 26,3	144,2 $\pm$ 31,6	148,6 $\pm$ 31,3	145,6 $\pm$ 29,9	144,8 $\pm$ 35,2
	W80	151,0 $\pm$ 31,7	148,2 $\pm$ 30,8	150,1 $\pm$ 31,1	150,2 $\pm$ 28,9	142,5 $\pm$ 27,2	143,1 $\pm$ 35,4	144,9 $\pm$ 35,2
	W45	148,5 $\pm$ 33,7	150,7 $\pm$ 31,3	142,8 $\pm$ 25,2	144,0 $\pm$ 25,4	137,3 $\pm$ 28,7	138,8 $\pm$ 27,3	140,5 $\pm$ 23,8

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ .

**Tabela 6.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) momentów sił mięśni zginaczy podszwowych stopy (ZPS), sumy momentów sił 5 badanych zespołów mięśniowych (SUMA) i wskaźnika „zginacze-prostawniki” w stawach kolanowym (WZPK) i biodrowym (WZPB)

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
ZPS [N·m]	M10	252,0 $\pm$ 50,4	255,2 $\pm$ 45,8	272,4 $\pm$ 68,4	274* $\pm$ 64,1	275* $\pm$ 65,8	263 $\pm$ 75,3	258,2 $\pm$ 69,2
	M5	268,4 $\pm$ 62,9	265,4 $\pm$ 62,5	259,1 $\pm$ 46,6	273,7 $\pm$ 61,2	273,4 $\pm$ 58,1	269,5 $\pm$ 65,7	269,1 $\pm$ 63,9
	W80	240,9 $\pm$ 53,9	54,0 $\pm$ 48,7	251,6 $\pm$ 43,0	246,0 $\pm$ 38,0	243,9 $\pm$ 58,5	250,2 $\pm$ 52,7	243,6 $\pm$ 65,3
	W45	227,1 $\pm$ 39,1	246,5* $\pm$ 49,1	252,4* $\pm$ 56,8	247,7* $\pm$ 55,9	254,3* $\pm$ 53,0	249,4* $\pm$ 44,3	243,6* $\pm$ 50,7
SUMA [N·m]	M10	1114,6 $\pm$ 197,4	1124,9 $\pm$ 214,7	1154,7* $\pm$ 230,6	1148,6 $\pm$ 241,2	1173,7* $\pm$ 227,2	1161,3* $\pm$ 245,7	1162,1* $\pm$ 220,2
	M5	1155,9 $\pm$ 197,7	1158,3 $\pm$ 186,9	1165,8 $\pm$ 164,7	1180,6 $\pm$ 178,2	1210,6* $\pm$ 191,4	1194,1 $\pm$ 193,9	1191,7 $\pm$ 203,3
	W80	1174,5 $\pm$ 224,2	1158,1 $\pm$ 167,3	1131,4 $\pm$ 158,4	1152,6 $\pm$ 147,2	1139,7 $\pm$ 136,6	1120,6* $\pm$ 173,2	1131,4 $\pm$ 210,9
	W45	1138,4 $\pm$ 156,3	1128,0 $\pm$ 147,8	1132,3 $\pm$ 144,3	1142,7 $\pm$ 153,6	1165,1 $\pm$ 148,0	1146,0 $\pm$ 145,0	1152,5 $\pm$ 143,3
WZPK [-]	M10	0,65 $\pm$ 0,11	0,64 $\pm$ 0,14	0,65 $\pm$ 0,13	0,63 $\pm$ 0,14	0,64 $\pm$ 0,12	0,63 $\pm$ 0,10	0,63 $\pm$ 0,11
	M5	0,66 $\pm$ 0,07	0,69 $\pm$ 0,12	0,68 $\pm$ 0,11	0,63 $\pm$ 0,09	0,64 $\pm$ 0,06	0,63 $\pm$ 0,06	0,63 $\pm$ 0,11
	W80	0,60 $\pm$ 0,07	0,58 <sup>b</sup> $\pm$ 0,11	0,60 $\pm$ 0,08	0,61 $\pm$ 0,09	0,60 $\pm$ 0,08	0,61 $\pm$ 0,08	0,56 $\pm$ 0,08
	W45	0,64 $\pm$ 0,08	0,66 $\pm$ 0,11	0,63 $\pm$ 0,10	0,64 $\pm$ 0,15	0,57* $\pm$ 0,11	0,57* $\pm$ 0,08	0,57* $\pm$ 0,09
WZPB [-]	M10	0,49 $\pm$ 0,06	0,48 $\pm$ 0,07	0,52 $\pm$ 0,10	0,53 $\pm$ 0,09	0,50 $\pm$ 0,09	0,52 $\pm$ 0,10	0,50 $\pm$ 0,08
	M5	0,45 $\pm$ 0,05	0,46 $\pm$ 0,09	0,47 $\pm$ 0,07	0,46 $\pm$ 0,09	0,44 $\pm$ 0,10	0,47# $\pm$ 0,07	0,49 $\pm$ 0,07
	W80	0,49 $\pm$ 0,06	0,52 $\pm$ 0,12	0,49 $\pm$ 0,09	0,43 <sup>a</sup> $\pm$ 0,08	0,40* <sup>a</sup> $\pm$ 0,07	0,41* <sup>a</sup> $\pm$ 0,07	0,44 $\pm$ 0,08
	W45	0,48 $\pm$ 0,05	0,53 $\pm$ 0,09	0,49 $\pm$ 0,09	0,45 $\pm$ 0,11	0,42* <sup>a</sup> $\pm$ 0,09	0,44 <sup>a</sup> $\pm$ 0,09	0,47# $\pm$ 0,11

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ .



Rycina 19. Średnie wartości zmian sumy momentów sił 5 badanych zespołów mięśniowych [%] liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$

### 3.4.2. Moc maksymalna, moc średnia i wysokość uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej

Wyniki badań (średnie $\pm$ SD) przedstawiono w tabelach 7a i 7b (wyskok CMJ) i 8 (wyskok SJ). Treningi na cykloergometrze spowodowały istotne przyrosty mocy maksymalnej, liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań, w grupach M5 (8,9%) po czterech tygodniach treningu, M10 (8,9%) i W80 (14,8%) po pierwszym tygodniu od zakończeniu treningów oraz nieistotny wzrost w grupie W45 (7,2%) po pierwszym tygodniu od zakończeniu treningów (Ryc. 20). Moc średnia (Ryc. 21) wzrosła istotnie w grupach M5 (9,2%) po 4 tygodniach treningu i W80 (12,2%) po pierwszym tygodniu od zakończeniu treningów oraz wzrosła nieistotnie w M10 (8,0%) i W45 (9,8%) po pierwszym tygodniu od zakończeniu treningów. Wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ uległa obniżeniu, istotnemu w grupach W45 i W80 o  $-4,7\%$  oraz nieistotnemu w M10 o  $-3,4\%$  (Ryc. 22). W grupie M5 uległa nieistotnej poprawie o 2,1%. Badani grupy M10 rozwijali

istotnie mniejszą moc maksymalną względną po 4 tygodniach treningu w porównaniu z grupą M5. Moc maksymalna w wyskoku SJ wzrosła nieistotnie o 4,0% w grupie M10 i o 5,7% w M5 (Ryc. 23). W grupie M10 obserwowano nieistotny wzrost mocy średniej o 8,9% a M5 o 3,6% po czterech tygodniach treningu. Wysokość uniesienia środka masy ciała w wyskoku SJ pod wpływem treningów uległa nieistotnemu obniżeniu w grupach M10 o -2,5% oraz o -2,4% w M5 (Ryc. 24). W tabeli 9 zamieszczono współczynniki korelacji liniowej między mocą maksymalną ( $P_{max}$ ) i mocą średnią ( $P_m$ ), a wysokością uniesienia środka masy ciała ( $h$ ) w wyskoku CMJ i SJ. Nie znaleziono istotnego związku między  $P_{maxCMJ}$  i  $h_{CMJ}$  oraz  $P_{mCMJ}$  i  $h_{CMJ}$  w grupach M5 i W80 oraz  $P_{maxSJ}$  i  $h_{SJ}$  w M5. Istotną zależność w grupach M5 i W80 obserwowano dla wartości względnych między  $P_{maxCMJ}/BM$  i  $h_{CMJ}$  oraz  $P_{mCMJ}/BM$  i  $h_{CMJ}$ .

Tabela 7a. Średnie wartości ( $\pm$ SD) mocy maksymalnej ( $P_{maxCMJ}$ ) w wyskoku CMJ

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
$P_{maxCMJ}$ [W]	M10	2329,0 $\pm$ 555,6	2278,6 $\pm$ 457,4	2267,0 $\pm$ 497,8	2298,0 $\pm$ 369,5	2375,8 $\pm$ 496,4	2491,1* $\pm$ 501,6	2349,4 $\pm$ 466,4
	M5	2571,7 $\pm$ 487,3	2420,9 $\pm$ 490,4	2640,4 $\pm$ 472,9	2674,2 $\pm$ 500,1	2814,3* $\pm$ 634,9	2572,0# $\pm$ 453,4	2588,1# $\pm$ 375,2
	W80	2514,5 $\pm$ 386,2	2606,0 $\pm$ 317,9	2592,9 $\pm$ 359,8	2649,5 $\pm$ 368,1	2745,2* $\pm$ 428,8	2845,6* $\pm$ 463,8	2640,0* $\pm$ 391,4
	W45	2483,7 $\pm$ 577,9	2441,2 $\pm$ 584,7	2668,8 $\pm$ 675,2	2553,6 $\pm$ 577,3	2512,3 $\pm$ 551,8	2584,2 $\pm$ 532,7	2449,4 $\pm$ 591,7
$P_{maxCMJ}/BM$ [W/kg]	M10	30,99 $\pm$ 6,83	30,06 $\pm$ 5,19	29,92 $\pm$ 5,36	30,39 $\pm$ 3,90	31,23 $\pm$ 4,90	32,95 $\pm$ 6,01	30,96 $\pm$ 5,09
	M5	33,96 $\pm$ 5,01	32,21 $\pm$ 5,92	34,90 $\pm$ 5,30	35,33 $\pm$ 5,97	37,09* <sup>a</sup> $\pm$ 6,99	34,10# $\pm$ 5,88	34,29# $\pm$ 5,27
	W80	31,66 $\pm$ 4,98	32,71 $\pm$ 3,03	33,43 $\pm$ 5,80	33,69 $\pm$ 4,93	34,95* $\pm$ 5,68	36,07* $\pm$ 5,02	33,74 $\pm$ 4,75
	W45	31,28 $\pm$ 6,68	30,71 $\pm$ 6,21	33,96 $\pm$ 6,87	32,32 $\pm$ 6,34	32,03 $\pm$ 6,47	33,08 $\pm$ 6,61	31,17 $\pm$ 7,11

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; BM – masa ciała; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ), \* – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ .

Tabela 7b. Średnie wartości ( $\pm$ SD) mocy średniej ( $P_{mCM}$ ), wysokości uniesienia środka masy ( $h_{CM}$ )

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
$P_{mCM}$ [W]	M10	1086.7 $\pm$ 347.5	1018.3 $\pm$ 262.2	1012.3 $\pm$ 240.9	1050.0 $\pm$ 205.3	1071.0 $\pm$ 241.3	1122.4 $\pm$ 241.5	1050.1 $\pm$ 244.2
	M5	1161.2 $\pm$ 237.3	1112.5 $\pm$ 288.3	1215.0 $\pm$ 322.2	1204.2 $\pm$ 311.0	1282.6* $\pm$ 359.0	1169.0 $\pm$ 287.6	1149.4# $\pm$ 277.8
	W80	1149.0 $\pm$ 285.8	1151.3 $\pm$ 199.5	1158.8 $\pm$ 242.1	1130.5 $\pm$ 238.4	1220.3 $\pm$ 271.5	1251.7* $\pm$ 293.9	1198.8 $\pm$ 256.3
	W45	1101.9 $\pm$ 259.7	1106.8 $\pm$ 267.9	1176.8 $\pm$ 294.0	1163.0 $\pm$ 248.8	1142.1 $\pm$ 245.3	1166.9 $\pm$ 257.5	1119.1 $\pm$ 272.9
$P_{mCM}/BM$ [W/kg]	M10	14.38 $\pm$ 3.88	13.50 $\pm$ 3.24	13.42 $\pm$ 3.04	13.90 $\pm$ 2.37	14.03 $\pm$ 2.31	14.85 $\pm$ 2.99	13.80 $\pm$ 2.67
	M5	15.36 $\pm$ 2.77	14.76 $\pm$ 3.34	16.05 $\pm$ 3.85	15.88 $\pm$ 3.85	16.87* $\pm$ 4.16	15.49# $\pm$ 3.71	15.16# $\pm$ 3.47
	W80	14.42 $\pm$ 3.30	14.49 $\pm$ 2.34	14.98 $\pm$ 3.63	14.41 $\pm$ 3.15	15.56 $\pm$ 3.65	15.90* $\pm$ 3.69	15.31 $\pm$ 3.06
	W45	13.93 $\pm$ 3.41	13.90 $\pm$ 2.81	15.18 $\pm$ 3.26	14.71 $\pm$ 2.61	14.55 $\pm$ 2.71	14.91 $\pm$ 3.06	14.20 $\pm$ 3.14
$h_{CM}$ [m]	M10	0.461 $\pm$ 0.062	0.456 $\pm$ 0.063	0.452 $\pm$ 0.067	0.444 $\pm$ 0.058	0.445 $\pm$ 0.075	0.445 $\pm$ 0.075	0.446 $\pm$ 0.057
	M5	0.458 $\pm$ 0.039	0.452 $\pm$ 0.038	0.463 $\pm$ 0.036	0.455 $\pm$ 0.046	0.461 $\pm$ 0.048	0.468 $\pm$ 0.050	0.455 $\pm$ 0.038
	W80	0.477 $\pm$ 0.050	0.448* $\pm$ 0.036	0.453* $\pm$ 0.042	0.447* $\pm$ 0.044	0.453* $\pm$ 0.046	0.467 $\pm$ 0.036	0.451* $\pm$ 0.040
	W45	0.469 $\pm$ 0.056	0.443* $\pm$ 0.050	0.461 $\pm$ 0.059	0.451* $\pm$ 0.064	0.446* $\pm$ 0.060	0.457 $\pm$ 0.070	0.451* $\pm$ 0.055

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; BM – masa ciała; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ), ° – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ .

**Tabela 8.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) mocy maksymalnej ( $P_{\max SJ}$ ), mocy średniej ( $P_{\text{msj}}$ ), wysokości uniesienia środka masy ( $h_{\text{sj}}$ ) w wyskoku SJ

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
$P_{\max SJ}$ [W]	M10	2158,0 $\pm$ 593,2	2068,6 $\pm$ 494,5	2015,9 $\pm$ 521,2	2244,7 $\pm$ 549,3	2188,0 $\pm$ 532,5	2211,7 $\pm$ 505,5	2167,0 $\pm$ 490,7
	M5	2132,3 $\pm$ 375,7	1955,7* $\pm$ 290,9	2140,4 $\pm$ 344,7	2198,8 $\pm$ 304,1	2235,7 $\pm$ 344,1	2175,5 $\pm$ 272,5	2140,8 $\pm$ 271,3
$P_{\max SJ}/\text{BM}$ [W/kg]	M10	28,25 $\pm$ 6,16	27,28 $\pm$ 5,36	26,53 $\pm$ 5,88	29,72 $\pm$ 6,30	28,92 $\pm$ 6,83	29,25 $\pm$ 6,31	28,71 $\pm$ 5,99
	M5	28,35 $\pm$ 5,27	26,12* $\pm$ 4,50	28,49 $\pm$ 4,84	29,29 $\pm$ 5,23	29,78 $\pm$ 5,18	29,21 $\pm$ 5,89	28,58 $\pm$ 5,15
$P_{\text{msj}}$ [W]	M10	945,2 $\pm$ 212,5	999,6 $\pm$ 241,9	923,0 $\pm$ 291,2	1035,9 $\pm$ 197,2	1018,0 $\pm$ 265,5	1002,1 $\pm$ 251,0	1011,4 $\pm$ 217,3
	M5	964,2 $\pm$ 195,6	919,8 $\pm$ 159,7	992,9 $\pm$ 196,5	955,8 $\pm$ 161,0	986,9 $\pm$ 180,4	920,3 $\pm$ 257,3	914,4 $\pm$ 111,2
$P_{\text{msj}}/\text{BM}$ [W/kg]	M10	12,59 $\pm$ 3,14	13,23 $\pm$ 2,83	12,19 $\pm$ 3,51	13,84 $\pm$ 2,88	13,56 $\pm$ 3,78	13,33 $\pm$ 3,48	13,39 $\pm$ 2,70
	M5	12,84 $\pm$ 2,79	12,38 $\pm$ 2,90	13,35 $\pm$ 3,42	12,76 $\pm$ 2,78	13,11 $\pm$ 2,50	12,43 $\pm$ 4,11	12,14 $\pm$ 1,71
$h_{\text{sj}}$ [m]	M10	0,359 $\pm$ 0,047	0,356 $\pm$ 0,040	0,351 $\pm$ 0,048	0,347 $\pm$ 0,042	0,349 $\pm$ 0,053	0,349 $\pm$ 0,052	0,349 $\pm$ 0,041
	M5	0,364 $\pm$ 0,037	0,354 $\pm$ 0,044	0,360 $\pm$ 0,036	0,358 $\pm$ 0,045	0,358 $\pm$ 0,037	0,355 $\pm$ 0,045	0,355 $\pm$ 0,034

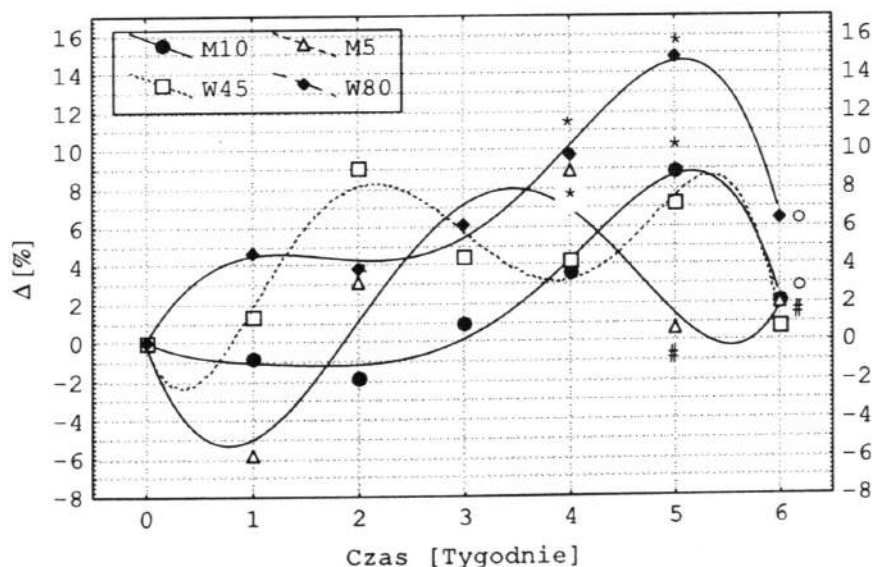
Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ).



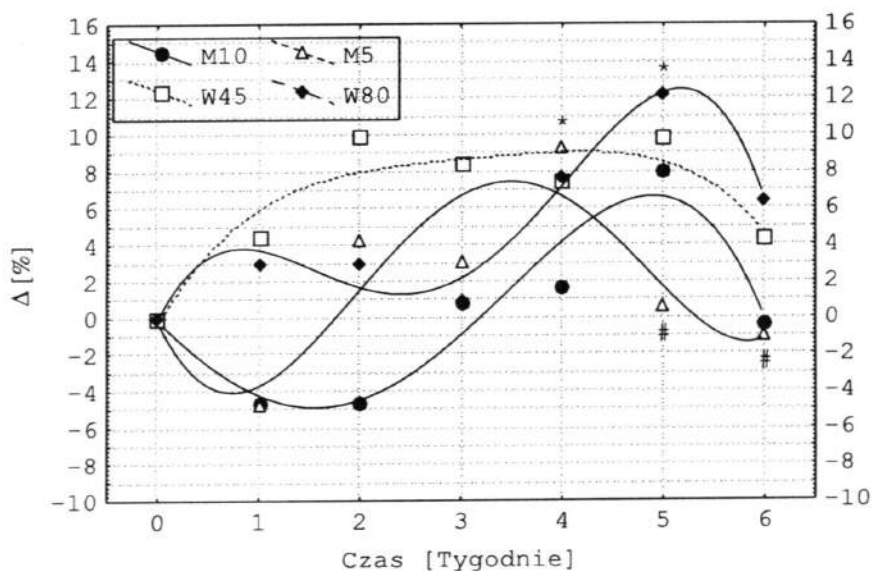
**Tabela 9.** Współczynniki korelacji między mocą maksymalną ( $P_{max}$ ) i mocą średnią ( $P_m$ ), a wysokością uniesienia środka masy ciała ( $h$ ) w wysoku CMJ i SJ. Pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po czterotygodniowym treningu (4), po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów (5)

Zmienne	Grupy	Wartości bezwzględne mocy			Wartości względne mocy		
		0	4	5	0	4	5
$P_{maxCMJ}$ vs. $h_{CMJ}$	M10	0,77*	0,75*	0,72*	0,63	0,95*	0,82*
	M5	0,33	0,44	0,36	0,88*	0,81*	0,75*
	W80	0,30	0,22	0,34	0,63*	0,73*	0,63*
	W45	0,37	0,65*	0,63*	0,59*	0,77*	0,71*
$P_{mCMJ}$ vs. $h_{CMJ}$	M10	0,83*	0,70*	0,77*	0,79*	0,87*	0,96*
	M5	0,32	0,35	0,42	0,74*	0,63*	0,68*
	W80	0,33	0,31	0,43	0,57	0,65*	0,58
	W45	0,38	0,60*	0,54	0,54	0,75*	0,64*
$P_{maxSJ}$ vs. $h_{SJ}$	M10	0,78*	0,95*	0,82*	0,90*	0,91*	0,83*
	M5	0,11	0,26	0,25	0,68*	0,34	0,59
$P_{mSJ}$ vs. $h_{SJ}$	M10	0,72*	0,82*	0,88*	0,61	0,70*	0,80*
	M5	0,14	0,65*	0,63*	0,65*	0,72*	0,78*

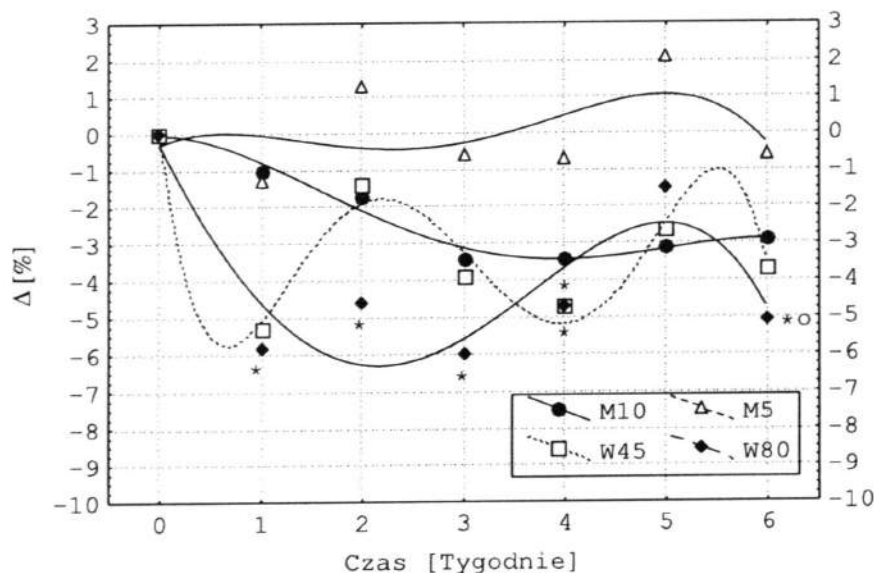
Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* –  $p < 0,05$ .



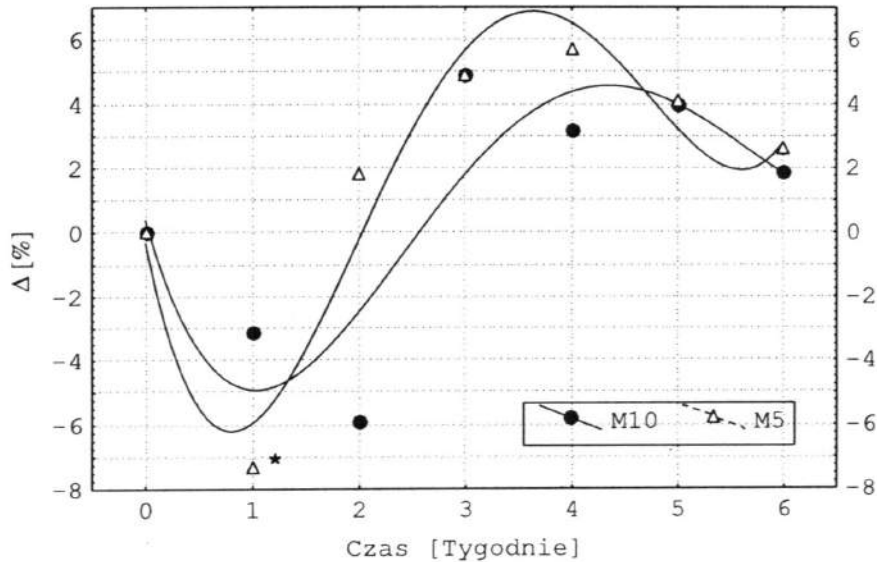
**Rycina 20.** Średnie wartości zmian [%] mocy maksymalnej ( $P_{maxCMJ}$ ) rozwijanej w wysoku CMJ liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objasnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ), \* – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ )



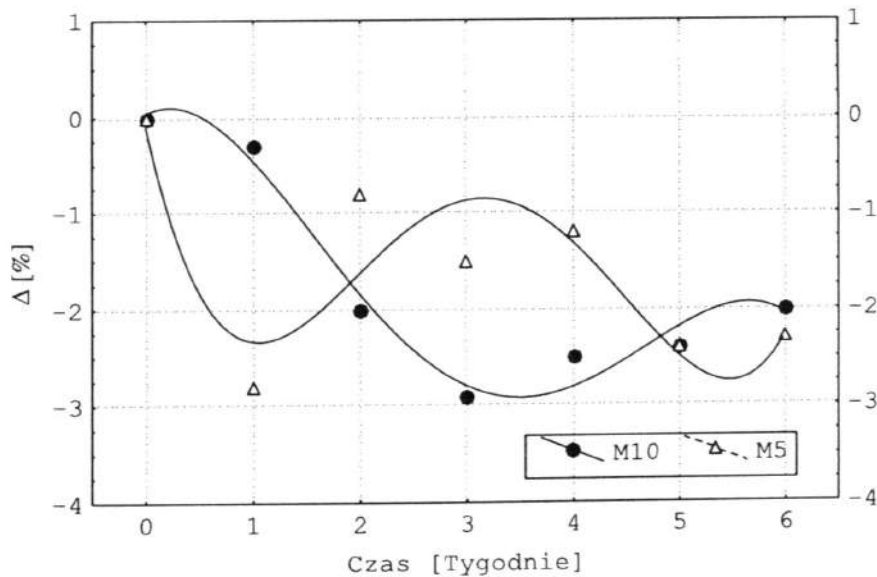
**Rycina 21.** Średnie wartości zmian [%] mocy średniej ( $P_{mCMJ}$ ) rozwijanej w wyskoku CMJ liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ )



**Rycina 22.** Średnie wartości zmian [%] wysokości uniesienia środka masy ciała ( $h_{CMJ}$ ) w wyskoku CMJ liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ )



**Rycina 23.** Średnie wartości zmian [%] mocy maksymalnej ( $P_{maxSJ}$ ) rozwijanej w wysoku SJ liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ )

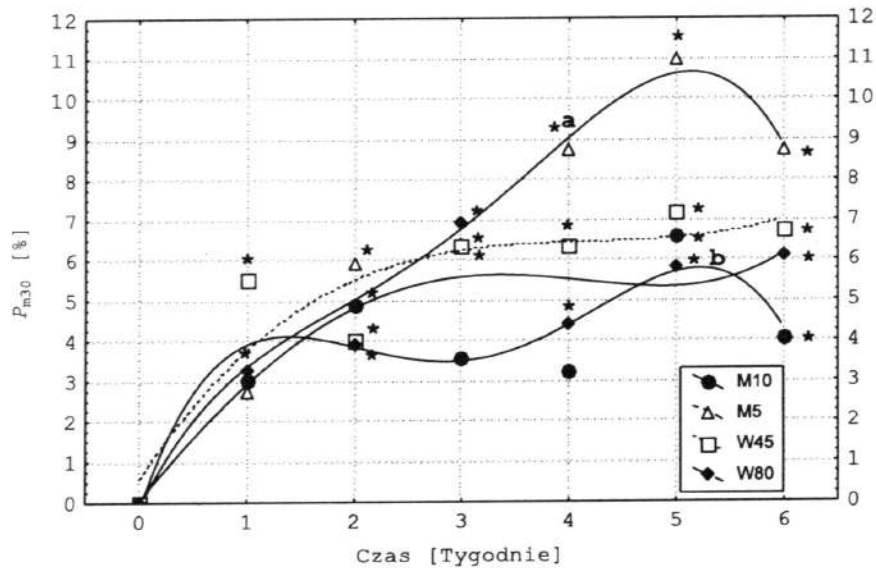


**Rycina 24.** Średnie wartości zmian [%] wysokości uniesienia środka masy ciała ( $h_{SJ}$ ) w wysoku SJ liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań (0) – wyrażonych w procentach a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5

### 3.4.3. Moc maksymalna i moc średnia rozwijana podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze

Wyniki badań uzyskane w 30-sekundowych wysiłkach maksymalnych przedstawiono w tabeli 10. Moc maksymalna ( $P_{\max 30}$ ) nie uległa istotnym zmianom liczoną względem pomiaru przed rozpoczęciem badań we wszystkich grupach (M10 1,5%, M5 3,9%, W80 1,2% i W45 2,6%).

W przypadku mocy średniej ( $P_{m30}$ ) największe istotne zmiany obserwowano w grupach M10 (6,5%), M5 (11,0%) i W45 (7,2%) w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningów a w grupie W80 (6,1%) w drugim tygodniu po zaprzestaniu treningów (Ryc. 25). Średnie wartości  $P_{\max 30}$  i  $P_{m30}$  nie różniły się istotnie między grupami. Grupa M10 rozwijała istotnie mniejszą moc maksymalną względną w porównaniu z pozostałymi trzema grupami po 2 tygodniach od zakończenia treningów. Istotne różnice między grupami obserwowano dla procentowych zmian mocy średniej między grupami M10 i M5 po 4 tygodniach treningu oraz M5 i W80 po pierwszym tygodniu od zakończeniu treningów.



**Rycina 25.** Średnie wartości zmian [%] mocy średniej ( $P_{m30}$ ) rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym liczoną względem pomiaru przed rozpoczęciem badań. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, **a** –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, **b** –  $p < 0,05$

Tabela 10. Średnie wartości ( $\pm$ SD) mocy maksymalnej ( $P_{\max30}$ ) i mocy średniej ( $P_{m30}$ ) rozwijanej w 30-s wysiłku maksymalnym

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
$P_{\max30}$ [W]	M10	826,9 $\pm$ 122,0	822,5 $\pm$ 79,5	835,5 $\pm$ 96,2	797,3 $\pm$ 111,1	804,2 $\pm$ 107,4	835,6 $\pm$ 101,5	802,6 <sup>~</sup> $\pm$ 115,0
	M5	832,7 $\pm$ 117,4	795,2* $\pm$ 113,8	845,6 $\pm$ 113,6	811,7 $\pm$ 108,1	824,1 $\pm$ 99,7	860,6 $\pm$ 101,6	853,8 $\pm$ 117,7
	W80	869,8 $\pm$ 114,9	880,5 $\pm$ 124,8	874,9 $\pm$ 134,0	895,0 $\pm$ 123,7	864,3 $\pm$ 131,4	869,4 $\pm$ 120,3	878,4 $\pm$ 102,3
	W45	861,5 $\pm$ 120,3	872,4 $\pm$ 85,6	856,1 $\pm$ 82,2	859,3 $\pm$ 95,1	873,8 $\pm$ 103,4	875,4 $\pm$ 93,0	878,8 $\pm$ 93,8
$P_{\max30}/BW$ [W/kg]	M10	10,61 $\pm$ 0,68	10,63 $\pm$ 0,79	10,73 $\pm$ 0,78	10,28 $\pm$ 1,05	10,34 $\pm$ 0,90	10,74 $\pm$ 0,69	10,31 <sup>~</sup> $\pm$ 0,89
	M5	10,80 $\pm$ 0,85	10,23* $\pm$ 0,89	10,87 $\pm$ 0,78	10,45 $\pm$ 0,78	10,59 $\pm$ 0,50	11,07# $\pm$ 0,75	10,96 <sup>a</sup> $\pm$ 0,52
	W80	10,87 $\pm$ 0,61	10,99 <sup>b</sup> $\pm$ 0,59	10,89 $\pm$ 0,33	11,17 <sup>ab</sup> $\pm$ 0,50	10,78 $\pm$ 0,62	10,88 $\pm$ 0,91	11,00 <sup>a</sup> $\pm$ 0,66
	W45	10,81 $\pm$ 0,80	10,99 <sup>b</sup> $\pm$ 0,58	10,79 $\pm$ 0,61	10,82 $\pm$ 0,63	10,99 <sup>a</sup> $\pm$ 0,67	11,03 $\pm$ 0,74	11,06 <sup>a</sup> $\pm$ 0,67
$P_{m30}$ [W]	M10	645,3 $\pm$ 85,7	661,2 $\pm$ 61,7	673,8* $\pm$ 65,6	665,1 $\pm$ 71,4	665,8 $\pm$ 91,1	686,1* $\pm$ 78,7	669,2 $\pm$ 75,0
	M5	633,6 $\pm$ 87,9	648,5 $\pm$ 90,9	668,1* $\pm$ 85,0	671,5* $\pm$ 86,5	687,0* $\pm$ 91,8	700,0* $\pm$ 86,1	687,4* $\pm$ 95,9
	W80	659,3 $\pm$ 88,7	680,4* $\pm$ 91,8	684,6* $\pm$ 94,5	704,9* $\pm$ 98,2	689,1* $\pm$ 102,0	696,3* $\pm$ 91,4	698,2* $\pm$ 86,9
	W45	669,3 $\pm$ 84,3	704,0* $\pm$ 73,3	693,6* $\pm$ 67,3	709,8* $\pm$ 76,6	709,8* $\pm$ 79,5	715,3* $\pm$ 73,7	712,0* $\pm$ 73,5
$P_{m30}/BW$ [W/kg]	M10	8,31 $\pm$ 0,59	8,54 $\pm$ 0,57	8,71* $\pm$ 0,60	8,59 $\pm$ 0,69	8,57 $\pm$ 0,72	8,85* $\pm$ 0,57	8,64* $\pm$ 0,74
	M5	8,14 $\pm$ 0,58	8,33 $\pm$ 0,46	8,60* $\pm$ 0,54	8,64* $\pm$ 0,46	8,83* $\pm$ 0,48	9,01* $\pm$ 0,51	8,83* $\pm$ 0,46
	W80	8,24 $\pm$ 0,47	8,49* $\pm$ 0,34	8,54* $\pm$ 0,34	8,80* $\pm$ 0,46	8,60* $\pm$ 0,49	8,72* $\pm$ 0,71	8,73* $\pm$ 0,49
	W45	8,42 $\pm$ 0,68	8,87* <sup>bc</sup> $\pm$ 0,45	8,74* $\pm$ 0,45	8,94* $\pm$ 0,53	8,93* $\pm$ 0,48	9,01* $\pm$ 0,58	8,96* $\pm$ 0,48

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ), ~ – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ , W80 vs. W45, <sup>c</sup> –  $p < 0,05$ .

Tabela 11. Średnie wartości ( $\pm$ SD) indeksu zmęczenia (FI), mocy średniej rozwijanej w pierwszych 10 sekundach ( $P_{m10}$ ) i pozostałych 20 sekundach ( $P_{m20}$ ) trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego

Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
FI [%]	M10	20,3 $\pm$ 4,7	18,9 $\pm$ 5,2	18,7 $\pm$ 4,6	15,7* $\pm$ 5,6	16,6* $\pm$ 4,1	16,4* $\pm$ 4,0	15,1* $\pm$ 6,1
	M5	22,1 $\pm$ 5,5	18,1* $\pm$ 3,9	20,3 $\pm$ 3,2	16,6* $\pm$ 3,7	16,0* $\pm$ 4,4	17,6* $\pm$ 4,5	19,5 <sup>a</sup> $\pm$ 4,8
	W80	26,5 <sup>ab</sup> $\pm$ 3,0	24,9 <sup>ab</sup> $\pm$ 2,3	23,6* <sup>a</sup> $\pm$ 2,2	23,5* <sup>ab</sup> $\pm$ 2,0	22,1* <sup>ab</sup> $\pm$ 1,5	21,8* <sup>ab</sup> $\pm$ 3,4	22,6* <sup>a</sup> $\pm$ 1,8
	W45	23,9 $\pm$ 4,1	20,8* <sup>c</sup> $\pm$ 4,8	20,4* $\pm$ 5,0	18,8* <sup>c</sup> $\pm$ 4,2	20,0* <sup>b</sup> $\pm$ 4,9	19,5* $\pm$ 4,8	20,4* <sup>a</sup> $\pm$ 3,7
$P_{m10}$ [W]	M10	688,4 $\pm$ 112,4	689,2 $\pm$ 78,9	708,8 $\pm$ 81,1	690,2 $\pm$ 96,5	693,0 $\pm$ 99,1	707,2 $\pm$ 87,0	686,9 $\pm$ 91,0
	M5	657,3 $\pm$ 148,2	668,6 $\pm$ 107,2	696,1 $\pm$ 111,6	691,9 $\pm$ 102,0	705,9 $\pm$ 107,8	724,8* $\pm$ 93,0	735,7* $\pm$ 118,6
	W80	758,1 <sup>b</sup> $\pm$ 100,2	759,5 <sup>b</sup> $\pm$ 118,9	750,2 $\pm$ 118,5	775,9 $\pm$ 115,4	754,3 $\pm$ 127,7	756,3 $\pm$ 110,3	762,9 $\pm$ 102,0
	W45	733,9 $\pm$ 99,6	766,3 <sup>b</sup> $\pm$ 78,4	744,3 $\pm$ 76,8	748,7 $\pm$ 85,9	759,3 $\pm$ 91,5	755,8 $\pm$ 78,2	762,1 $\pm$ 80,5
$P_{m20}$ [W]	M10	650,6 $\pm$ 101,0	645,1 $\pm$ 68,8	652,9 $\pm$ 64,6	651,8 $\pm$ 65,6	650,8 $\pm$ 90,6	674,4 $\pm$ 79,6	658,0 $\pm$ 74,0
	M5	628,6 $\pm$ 59,9	636,4 $\pm$ 86,0	651,8 $\pm$ 75,9	658,5* $\pm$ 81,1	674,8* $\pm$ 88,0	685,8* $\pm$ 86,8	660,9* $\pm$ 89,9
	W80	625,0 $\pm$ 85,1	639,1 $\pm$ 80,2	649,3 $\pm$ 82,9	667,4* $\pm$ 90,9	654,0* $\pm$ 89,0	663,6* $\pm$ 85,1	663,5* $\pm$ 80,5
	W45	619,9 $\pm$ 82,9	671,6* $\pm$ 77,0	665,8* $\pm$ 68,1	688,1* $\pm$ 76,9	682,9* $\pm$ 79,4	692,4* $\pm$ 76,2	684,3* $\pm$ 72,8

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ , W80 vs. W45, <sup>c</sup> –  $p < 0,05$ .

Indeks zmęczenia (FI) istotnie zmniejszył się w M10 z  $20,3 \pm 4,7$  do  $15,1 \pm 6,1\%$  po dwóch tygodniach od zakończenia treningów (Tabela 11). W grupie M5 największe istotne zmiany FI stwierdzono po 4 tygodniach treningu. W grupach W80 i W45 największe istotne zmniejszenie wartości FI obserwowano po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów. Istotne różnice między grupami W80 i W45 obserwowano po pierwszym i trzecim tygodniu trwania treningu. FI różniło się istotnie między grupami W80 i M10, M5 przed rozpoczęciem treningu, przez 4 tygodnie trwania treningu oraz po pierwszym tygodniu wypoczynku. Istotne różnice między M5 i W45 dla FI obserwowano po 4 tygodniach treningu oraz między M10 i W45 po dwóch tygodniach wypoczynku.

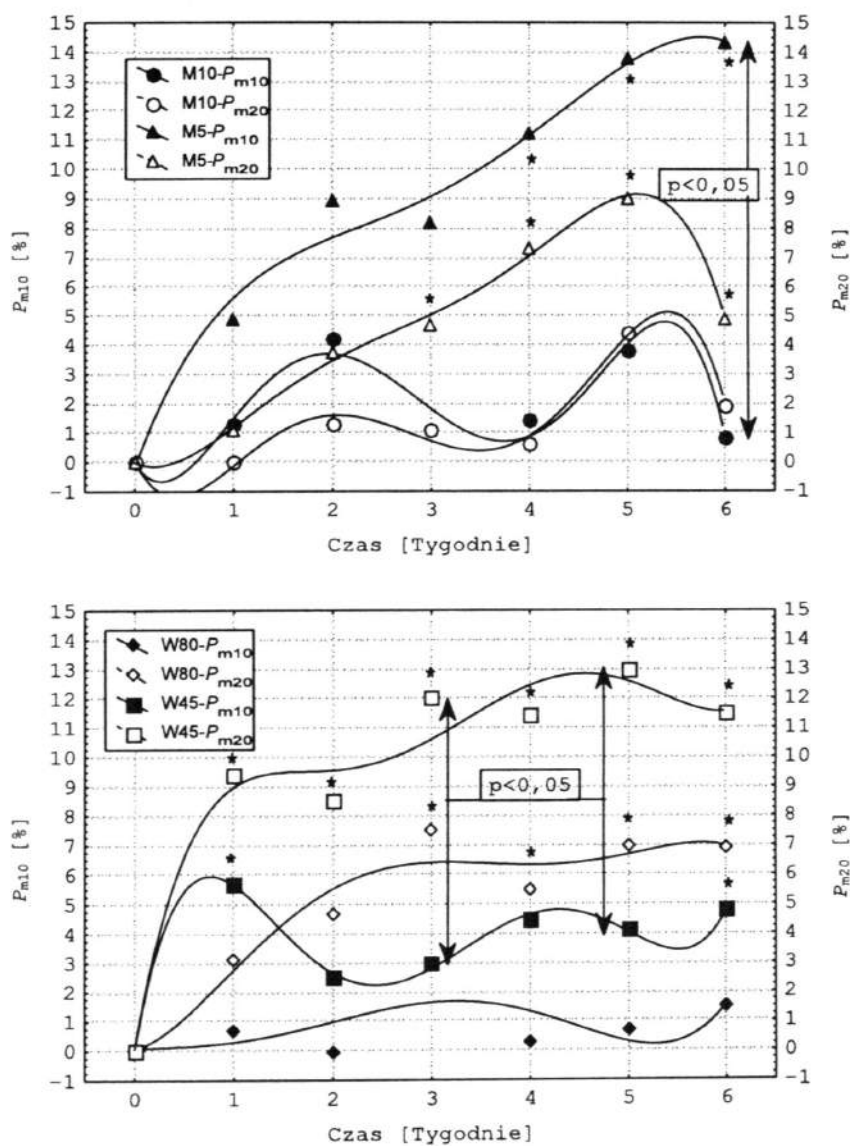
Analizując przebieg mocy średniej w pierwszych 10 s ( $P_{m10}$ ) i pozostałych 20 s ( $P_{m20}$ ) trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w grupie M10 nie stwierdzono istotnych zmian w pierwszym tygodniu po zakończeniu treningów zarówno w wartościach bezwzględnych (Tabela 11) jak i w procentowych różnicach liczonych względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów (Ryc. 26). W grupie M5 istotne różnice  $P_{m10}$  obserwowano w pierwszym i drugim tygodniu po zaprzestaniu treningów, a  $P_{m20}$  uległa istotnym zmianom po 3 i 4 tygodniach treningu oraz w pierwszym i drugim tygodniu po zaprzestaniu treningów. Procentowe zmiany liczone względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów były istotne po 4 tygodniach treningu i w dwutygodniowym okresie potreningowym. W grupie M5 większe potreningowe zmiany obserwowano dla  $P_{m10}$  niż dla  $P_{m20}$ . Średnie wartości procentowych zmian  $P_{m10}$  liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem treningów różniły się istotnie między M10 i M5 po dwóch tygodniach od zakończenia treningów. Analizując przebieg mocy średniej w pierwszych 10 s ( $P_{m10}$ ) i pozostałych 20 s ( $P_{m20}$ ) trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w grupie W80 stwierdzono istotne zmiany  $P_{m20}$  po trzecim i czwartym tygodniu treningów oraz w dwutygodniowym okresie potreningowym zarówno w wartościach bezwzględnych jak i w procentowych różnicach liczonych względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów. Wartość  $P_{m10}$  nie uległa istotnym zmianom w grupie W45 i W80. Natomiast  $P_{m20}$  w grupie W45 zmieniła się istotnie, zarówno w wartościach bezwzględnych jak i w procentowych różnicach liczonych względem pomiaru sprzed rozpoczęcia treningów, po 1, 2, 3 i 4 tygodniach treningu oraz w dwutygodniowym okresie potreningowym. Na rycinie 27 przedstawiono zmiany wskaźnika  $P_{m10}/P_{m20}$  a na rycinie 28 średnie wartości procentowych zmian mocy analizowanej w 3-sekundowych przedziałach. W tabeli 12 przedstawiono współczynniki korelacji liniowej między mocą maksymalną i mocą średnią rozwijaną w 30-s wysiłku maksymalnym a mocą maksymalną, mocą średnią i wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ.

**Tabela 12.** Współczynniki korelacji liniowej między mocą maksymalną ( $P_{maxW}$ ) i mocą średnią ( $P_{mW}$ ) rozwijaną w 30-s wysiłku maksymalnym a mocą maksymalną ( $P_{max}$ ), mocą średnią ( $P_m$ ) i wysokością uniesienia środka masy ciała ( $h$ ) w wysoku CMJ i SJ

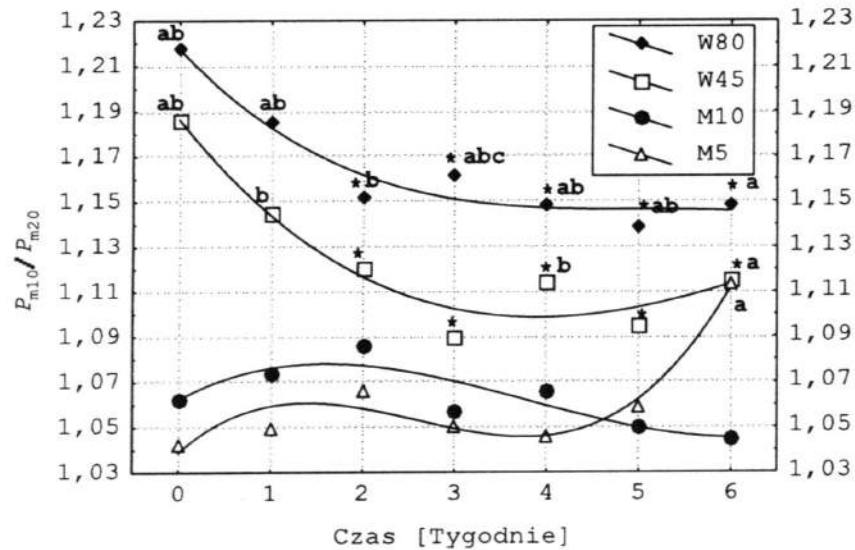
Zmienne	Grupy	$P_{maxW}$			$P_{mW}$		
		0	4	5	0	4	5
$P_{maxCMJ}$	M10	0,63	0,73*	0,69*	0,72*	0,73*	0,74*
	M5	0,73*	0,74*	0,49	0,81*	0,72*	0,60
	W80	0,56	0,52	0,54	0,57	0,54	0,53
	W45	0,54	0,73*	0,70*	0,54	0,66*	0,73*
$P_{mCMJ}$	M10	0,66*	0,60	0,68*	0,79*	0,66*	0,69*
	M5	0,60	0,67*	0,30	0,59	0,60	0,43
	W80	0,45	0,39	0,52	0,49	0,43	0,44
	W45	0,34	0,73*	0,61*	0,32	0,69*	0,68*
$h_{CMJ}$	M10	0,62	0,47	0,17	0,71*	0,47	0,19
	M5	-0,28	-0,16	-0,30	-0,25	-0,17	-0,18
	W80	-0,16	-0,36	-0,11	-0,24	-0,37	-0,05
	W45	0,02	0,35	0,38	-0,06	0,22	0,26
$P_{maxSJ}$	M10	0,89*	0,57	0,64	0,91*	0,58	0,71*
	M5	0,60*	0,49	0,17	0,55	0,55	0,35
$P_{mSJ}$	M10	0,43	0,27	0,51	0,41	0,29	0,47
	M5	0,43	0,44	-0,07	0,31	0,38	-0,04
$h_{SJ}$	M10	0,53	0,50	0,39	0,56	0,56	0,47
	M5	-0,51	-0,16	-0,32	-0,45	-0,12	-0,44

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotści pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po czterotygodniowym treningu (4), po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów (5); \* –  $p < 0,05$ .

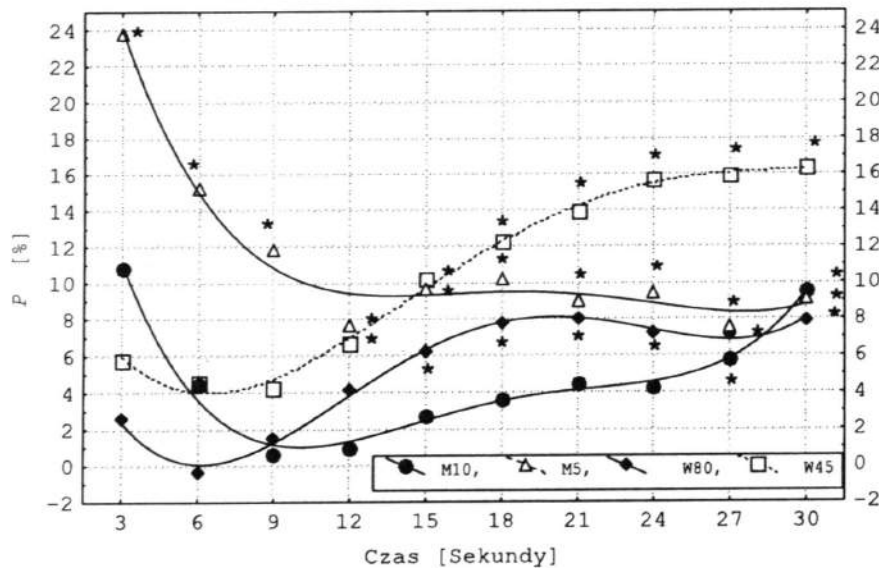




Rycina 26. Średnie wartości zmian [%] mocy średniej rozwijanej w pierwszych 10 sekundach ( $P_{m10}$ ) i pozostałych 20 sekundach ( $P_{m20}$ ) trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotści pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ )



**Rycina 27.** Zmiany średnich wartości wskaźnika  $P_{m10}/P_{m20}$ . Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ , W80 vs. W45, <sup>c</sup> –  $p < 0,05$



**Rycina 28.** Średnie wartości zmian [%] mocy ( $P$ ) analizowanej w 3-sekundowych przedziałach, rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym wykonanym w pierwszym tygodniu po zakończeniu treningów (5), liczonych względem pomiaru przed rozpoczęciem badań (0) – wyrażonych w procentach. Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ )

### 3.4.4. Stężenie kwasu mlekowego

Zmierzone po zakończeniu 16 (ostatniego) treningu stężenie kwasu mlekowego (LA) we krwi kapilarnej wyniosło w grupach: M10 –  $17,52 \pm 3,73$  mmol/l, M5 –  $19,15 \pm 2,21$  mmol/l, W80 –  $8,09 \pm 3,08$  mmol/l i W45 –  $8,79 \pm 3,74$  mmol/l (Tabela 13). Nie znaleziono istotnych różnic między M10 i M5 oraz W80 i W45 w potreningowym stężeniu LA. Natomiast trening wysiłkami maksymalnymi (grupy M10, M5) spowodował istotne różnice w potreningowym stężeniu LA w porównaniu z treningiem złożonym z wysiłków o stałej mocy 250 W (grupy W80, W45).

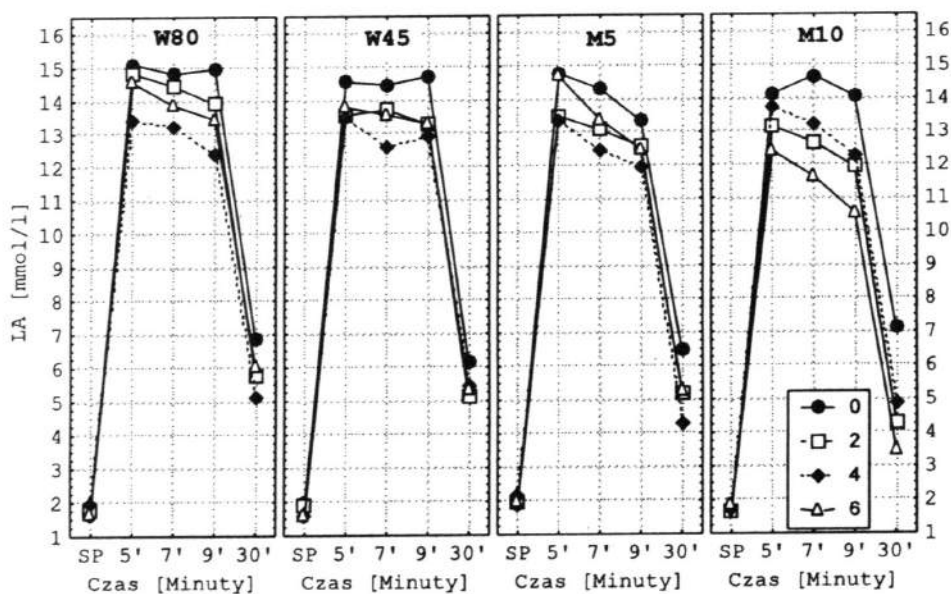
Analizując stężenie mleczanu po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym zaobserwowano w grupie M10 przesunięcie czasu wystąpienia największego stężenia LA z 7 minuty w pomiarze przed rozpoczęciem treningów do 5 minuty w pozostałych pomiarach kontrolnych (Ryc. 29). Największe istotne zmiany stężenia LA liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań stwierdzono w pomiarach wykonanych po dwóch tygodniach od zakończenia treningów w 5, 7 i 9 minucie. W grupie M5 we wszystkich pomiarach kontrolnych największe stężenie LA wystąpiło w 5 minucie po zakończeniu 30-sekundowego wysiłku maksymalnego. Największe zmiany liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem treningów zaobserwowano po 4 tygodniach treningu w 5, 7, 9 i 30 minucie. Po dwóch tygodniach od zakończenia treningu wartość największego stężenia LA występującego w 5 minucie była zbliżona do stężenia LA z pomiaru wykonanego przed treningiem. W grupie W45 obserwowano przesunięcie czasu wystąpienia największego stężenia mleczanów z 9 minuty w pomiarze przed rozpoczęciem treningów do 5 minuty w pomiarach kontrolnych wykonanych po 4 tygodniach treningu i po dwóch tygodniach od zakończenia treningów. Największe istotne zmiany stężenia LA stwierdzono w badaniach wykonanych po czterech tygodniach treningów w 5, 7 i 9 minucie. W grupie W80 we wszystkich pomiarach kontrolnych największe stężenie LA wystąpiło w 5 minucie po zakończeniu 30-sekundowego wysiłku maksymalnego. Największe zmiany liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem treningów obserwowano po 4 tygodniach treningu w 5, 7, 9 i 30 minucie. Średnie wartości indywidualnego piku stężenia LA (największa wartość stężenia LA występująca po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym dla każdego badanego) uległa istotnej zmianie w grupie M10 z  $15,23 \pm 2,37$  mmol/l w pomiarze sprzed rozpoczęcia treningów do  $12,34 \pm 2,35$  mmol/l w pomiarze wykonanym dwa tygodnie po zakończeniu treningów. W grupie M5 istotne różnice obserwowano między pikiem LA sprzed rozpoczęcia treningów ( $15,11 \pm 1,74$  mmol/l) a maksymalną wartością LA po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym wykonanym po czterech tygodniach treningów ( $13,49 \pm 2,10$  mmol/l). Średnie wartości indywidualnego piku stężenia LA uległy istotnej zmianie w grupie W80 z  $15,49 \pm 1,45$  mmol/l w pomiarze sprzed rozpoczęcia treningów do  $13,73 \pm 2,60$  mmol/l w pomiarze wykonanym po 4 tygodniach treningów. W grupie W45 istotne różnice obserwo-

wano między pikiem LA sprzed rozpoczęcia treningów ( $15,06 \pm 1,50$  mmol/l) a największym stężeniem LA po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym wykonanym po czterech tygodniach treningów ( $13,84 \pm 2,19$  mmol/l).

**Tabela 13.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) zmian stężenia kwasu mlekowego (LA) zmierzonych przed (SP) i bezpośrednio po (PW) zakończeniu 16 treningu oraz różnica między pomiarem przed rozpoczęciem treningu a pomiarem wykonanym bezpośrednio po zakończeniu treningu (D)

Zmienne	SP	PW	D	
LA [mmol/l]	M10	1,59 $\pm 0,56$	17,52* $\pm 3,73$	15,93 $\pm 3,56$
	M5	1,81 $\pm 0,53$	19,15* $\pm 2,21$	17,34 $\pm 2,13$
	W80	2,05 $\pm 0,44$	8,09* <sup>ab</sup> $\pm 3,08$	6,04 <sup>ab</sup> $\pm 3,30$
	W45	2,11 $\pm 0,83$	8,79* <sup>ab</sup> $\pm 3,74$	6,69 <sup>ab</sup> $\pm 3,25$

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między SP i PW ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ .



**Rycina 29.** Zmiana średnich wartości stężenia kwasu mlekowego (LA) po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym (pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po dwóch (2), czterech (4) tygodniach treningu i po dwóch tygodniach od zakończenia treningów (6). Objasnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; SP – wartość spoczynkowa, 5', 7' 9' i 30' – czas pomiaru po zakończeniu 30-sekundowego wysiłku maksymalnego

### 3.4.5. Charakterystyki siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych

Średnie wartości największych mocy rozwijanych przy zadanym obciążeniu ( $P_i$ ) zamieszczono w tabelach 14-15. W grupie M5 zaobserwowano równoległe przesunięcie w górę charakterystyk  $F-v$  i  $P-v$  w całym badanym zakresie obciążeń, od 2,5 do 12,5% BW po czterech tygodniach treningów na cykloergometrze (Ryc. 30). Największe istotne zmiany  $P_i$  liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań zanotowano w 1 tygodniu od zakończenia treningów (7,4% dla obciążenia 2,5% BW, 6,0% dla 5% BW, 5,8% dla 7,5% BW, 4,2% dla 10% BW i 4,4% dla 12,5% BW – nieistotne). W grupie M10 po 4 tygodniach treningu stwierdzono obrót krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  względem punktu 7,5% BW. Zmiana charakterystyk została spowodowana obniżeniem mocy o -3,3% dla obciążenia 2,5% BW i -2,0% dla 5% BW oraz wzrostem mocy o 0,8% dla 10% BW i 6,1% ( $p<0,05$ ) dla 12,5% BW. Największe zmiany mocy obserwowano w pierwszym tygodniu od zakończenia treningów przy obciążeniu 2,5% BW o 3,2%, 5% BW o 4,5% ( $p<0,05$ ), 7,5% BW o 4,7% ( $p<0,05$ ), 10% BW o 3,8% ( $p<0,05$ ) i 12,5% BW o 10,1% ( $p<0,05$ ). Dla obciążeń od 2,5 do 10% BW otrzymano równoległe przesunięcie krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  względem rezultatów sprzed rozpoczęcia badań. Po dwóch tygodniach od zaprzestania treningów obserwowano istotne zmniejszenie wartości rozwijanych mocy (w stosunku do pomiaru po 1 tygodniu od zakończenia badań) w przedziale zastosowanego obciążenia od 2,5 do 10,0% BW, a przebieg krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  pokrywał się z rezultatami uzyskanymi po czterech tygodniach treningów. Trening na cykloergometrze złożony z 3-minutowych wysiłków o stałej mocy 250 W w grupie W45 spowodował istotny wzrost mocy przy obciążeniu 7,5, 10 i 12,5% BW o 3,7%, 6,3% i 12,0% odpowiednio po 4 tygodniach treningu (Ryc. 31). Po zaprzestaniu treningów nastąpiło równoległe przesunięcie prostej  $F-v$  w dół, przy czym tylko dla obciążenia 5% BW spadek mocy liczony względem pomiaru po czterech tygodniach badań był istotny. Pod wpływem treningu z częstością pedałowania 80 obrotów/min nastąpił istotny wzrost mocy rozwijanej przez badanych przy obciążeniu 10 i 12,5% BW, kolejno o 6,5 i 15,5% po 4 tygodniach treningu.

Zależności siła-prędkość ( $F-v$ ) opisano w badanych grupach linią prostą. Średnie wartości współczynników kierunkowych równania prostej regresji zależności  $F-v$  uzyskanych we wszystkich grupach po 4 tygodniach treningów oraz po 1 i 2 tygodniu od zakończenia treningów różniły się istotnie względem współczynników uzyskanych w pomiarach przed rozpoczęciem treningów (Tabela 16). Istotny wzrost wartości współczynników kierunkowych równania prostej regresji po 4 tygodniach treningu świadczy o rozwijaniu większej siły przez badanych grup M10, W80 i W45. W grupach poddanych treningowi wysiłkami maksymalnymi obserwowano istotne różnice między współczynnikami kierunkowych prostej regresji zależności  $F-v$  uzyskanymi po 1 tygodniu od zaprzestania treningów a współczyn-

nikami uzyskanymi po 4 tygodniach treningów. Zaobserwowano istotne różnice między współczynnikami kierunkowych prostej regresji zależności  $F-v$  między grupami M10 i M5 a W80 i W45 po 1 tygodniu od zakończenia treningów oraz między M5 a W80 i W45 po 2 tygodniu od zakończenia treningów.

W grupach wykonujących trening złożony z wysiłków maksymalnych moc maksymalna obliczona z indywidualnych zależności  $P-v$  istotnie wzrosła z  $974,7 \pm 138,2$  do  $1040,8 \pm 155,3$  W ( $13,41 \pm 1,39$  W/kg) dla M10 i z  $973,9 \pm 154,5$  do  $1031,8 \pm 174,8$  W ( $13,22 \pm 0,91$  W/kg) dla M5 po 1 tygodniu od zaprzestania treningów (Tabela 17). Przyrostowi mocy towarzyszył wzrost prędkości optymalnej z  $113,0 \pm 12,4$  do  $118,8 \pm 19,9$  obrotów/min w grupie M5 i spadek prędkości optymalnej z  $115,8 \pm 12,9$  do  $112,6 \pm 11,9$  obrotów/min w M10. Moc maksymalna obliczana z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  wzrosła istotnie w grupach W80 z  $1020,3 \pm 160,1$  do  $1074,3 \pm 142,7$  W ( $13,42 \pm 0,65$  W/kg) i W45 z  $1017,4 \pm 123,7$  do  $1077,7 \pm 139,6$  W ( $13,55 \pm 1,06$  W/kg) po czterech tygodniach treningów. Wzrostowi mocy maksymalnej towarzyszyło zmniejszenie prędkości optymalnej z  $116,4 \pm 12,6$  do  $110,2 \pm 8,8$  obrotów/min w grupie W80 i z  $117,5 \pm 13,9$  do  $114,8 \pm 9,1$  obrotów/min w W45. W grupie W45 największy spadek prędkości optymalnej do  $105,7 \pm 12,5$  obrotów/min obserwowano po dwóch tygodniach od zakończenia treningów. W tabeli 18 zamieszczono współczynniki korelacji liniowej między mocą maksymalną ( $P_{max}$ ) obliczoną z zależności  $P-v$  a mocą maksymalną, mocą średnią i wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ i SJ. Znalezione istotny związek między  $P_{max}$  obliczonym z indywidualnych zależności  $P-v$  a  $P_{maxCMJ}$  w grupach M10 i M5 oraz  $P_{maxSJ}$  w M10 przez cały okres badań. Moc maksymalna obliczona z zależności  $P-v$  nie korelowała istotnie z wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ we wszystkich grupach. W grupach M10 i M5 stwierdzono istotny związek między mocą maksymalną względną a wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ.

Tabela 14. Średnie wartości ( $\pm$ SD) największych mocy ( $P_i$ ) [W] otrzymanych przy zadanym obciążeniu podczas wyznaczania charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość

Obciążenie [% BW]	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
2,5	M10	383,9 $\pm$ 45,2	377,3 $\pm$ 41,6	378,9 $\pm$ 50,6	378,1 $\pm$ 44,7	372,0 $\pm$ 53,2	395,0# $\pm$ 38,1	374,0° $\pm$ 60,2
	M5	374,1 $\pm$ 57,2	384,5 $\pm$ 60,4	386,1 $\pm$ 60,9	391,2* $\pm$ 55,7	377,5 $\pm$ 54,6	399,8*# $\pm$ 53,5	381,9° $\pm$ 54,9
	W80	383,2 $\pm$ 57,3	378,3 $\pm$ 57,9	382,6 $\pm$ 57,6	383,2 $\pm$ 52,0	386,5 $\pm$ 57,2	376,0 $\pm$ 64,0	373,7# $\pm$ 57,5
	W45	382,0 $\pm$ 46,0	374,6 $\pm$ 45,6	379,8 $\pm$ 46,4	380,8 $\pm$ 48,1	382,3 $\pm$ 48,4	374,3 $\pm$ 45,9	370,0*# $\pm$ 48,4
5,0	M10	670,6 $\pm$ 92,1	678,0 $\pm$ 86,8	655,3* $\pm$ 95,4	664,8* $\pm$ 103,7	657,9* $\pm$ 97,5	700,3*# $\pm$ 91,8	669,7° $\pm$ 96,9
	M5	669,7 $\pm$ 105,2	684,2 $\pm$ 105,6	670,2 $\pm$ 100,9	675,9 $\pm$ 102,0	674,9 $\pm$ 92,6	706,9*# $\pm$ 102,1	672,8° $\pm$ 92,7
	W80	692,3 $\pm$ 109,0	677,7 $\pm$ 113,7	688,5 $\pm$ 103,6	696,6 $\pm$ 82,3	687,6 $\pm$ 97,6	672,7 $\pm$ 104,0	662,2# $\pm$ 99,5
	W45	681,0 $\pm$ 91,2	670,9 $\pm$ 82,4	667,1 $\pm$ 89,7	659,1 $\pm$ 89,0	691,1 $\pm$ 92,7	676,1 $\pm$ 90,1	650,4*# $\pm$ 92,3
7,5	M10	850,8 $\pm$ 132,7	859,4 $\pm$ 123,1	842,8 $\pm$ 124,3	838,9 $\pm$ 123,0	849,7 $\pm$ 135,6	886,6*# $\pm$ 114,2	844,7° $\pm$ 150,3
	M5	848,4 $\pm$ 135,3	844,6 $\pm$ 120,8	851,6 $\pm$ 137,3	836,2 $\pm$ 118,5	871,4 $\pm$ 122,7	891,9* $\pm$ 112,2	869,9 $\pm$ 120,7
	W80	892,6 $\pm$ 138,1	860,0* 152,1	872,9 $\pm$ 125,3	874,2 $\pm$ 135,1	900,1 $\pm$ 125,9	876,0 $\pm$ 128,8	856,2# $\pm$ 140,9
	W45	868,5 $\pm$ 102,9	871,2 $\pm$ 110,0	867,8 $\pm$ 105,1	870,4 $\pm$ 107,2	900,1* $\pm$ 115,2	870,4# $\pm$ 116,3	852,5# $\pm$ 112,4

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ), ° – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 15.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) największych mocy ( $P_i$ ) [W] otrzymanych przy zadanym obciążeniu podczas wyznaczania charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość

Obciążenie [% BW]	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
10,0	M10	944,8 $\pm$ 142,5	954,3 $\pm$ 128,6	940,2 $\pm$ 138,7	957,1 $\pm$ 144,8	951,9 $\pm$ 144,7	977,2*# $\pm$ 130,9	955,3 $\pm$ 154,9
	M5	943,8 $\pm$ 157,8	919,1 $\pm$ 142,2	945,9 $\pm$ 150,8	922,2 $\pm$ 133,5	973,3 $\pm$ 133,8	977,5* $\pm$ 141,6	970,1 $\pm$ 146,7
	W80	959,0 $\pm$ 175,0	949,6 $\pm$ 145,6	982,8 $\pm$ 130,2	987,9 $\pm$ 140,7	1009,5* $\pm$ 141,3	978,0 $\pm$ 153,9	990,5 $\pm$ 151,9
	W45	972,8 $\pm$ 135,5	956,3 $\pm$ 105,8	963,9 $\pm$ 112,4	967,4 $\pm$ 145,2	1029,3* $\pm$ 128,7	982,9# $\pm$ 113,6	978,7# $\pm$ 133,7
12,5	M10	944,7 $\pm$ 130,3	989,1 $\pm$ 155,5	998,5* $\pm$ 131,9	999,6* $\pm$ 151,4	1001,6* $\pm$ 146,5	1036,9* $\pm$ 154,8	1001,8* $\pm$ 145,7
	M5	943,4 $\pm$ 160,3	916,3 $\pm$ 168,2	984,9 $\pm$ 172,7	924,0 $\pm$ 177,5	983,5 $\pm$ 163,7	982,9 $\pm$ 194,8	976,1 $\pm$ 171,6
	W80	942,2 $\pm$ 161,4	977,6 $\pm$ 192,9	1000,8 $\pm$ 151,9	1003,3 $\pm$ 129,7	1069,9* $\pm$ 143,1	1021,2* $\pm$ 146,4	1032,2* $\pm$ 180,7
	W45	973,4 $\pm$ 132,9	962,2 $\pm$ 134,2	992,1 $\pm$ 123,5	1003,9 $\pm$ 172,9	1069,1* $\pm$ 148,4	1036,1 $\pm$ 128,7	1019,2 $\pm$ 134,3

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreninowy ( $p<0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5, 6 pomiarem ( $p<0,05$ ).

**Tabela 16.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) współczynnika kierunkowego równania prostej regresji zależności siła-prędkość

Grupy	0	4	5	6
M10	0,0967 $\pm$ 0,0090	0,1098 $\pm$ 0,0095*	0,0969 $\pm$ 0,0147#	0,1077 $\pm$ 0,0132*°
M5	0,1005 $\pm$ 0,0113	0,1051 $\pm$ 0,0108	0,0921 $\pm$ 0,0097*#	0,1018 $\pm$ 0,0070°
W80	0,0991 $\pm$ 0,0119	0,1148 $\pm$ 0,0128*	0,1143 $\pm$ 0,0137* <b>ab</b>	0,1179 $\pm$ 0,0173* <b>b</b>
W45	0,0988 $\pm$ 0,0325	0,1155 $\pm$ 0,0119* <b>b</b>	0,1156 $\pm$ 0,0193* <b>ab</b>	0,1185 $\pm$ 0,0175* <b>b</b>

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (4) – po czterech tygodniach trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreninowy ( $p<0,05$ ); # – średnie różnią się istotnie między 4 i 5 pomiarem ( $p<0,05$ ), ° – średnie różnią się istotnie między 5 i 6 pomiarem ( $p<0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, **a** –  $p<0,05$ , M5 vs. W80, W45, **b** –  $p<0,05$ .



**Tabela 17.** Średnie wartości ( $\pm$ SD) mocy maksymalnej ( $P_{\max}$ ), względnej mocy maksymalnej ( $P_{\max}/BM$ ) i prędkości optymalnej ( $v_o$ ) obliczonych z zależności moc-prędkość

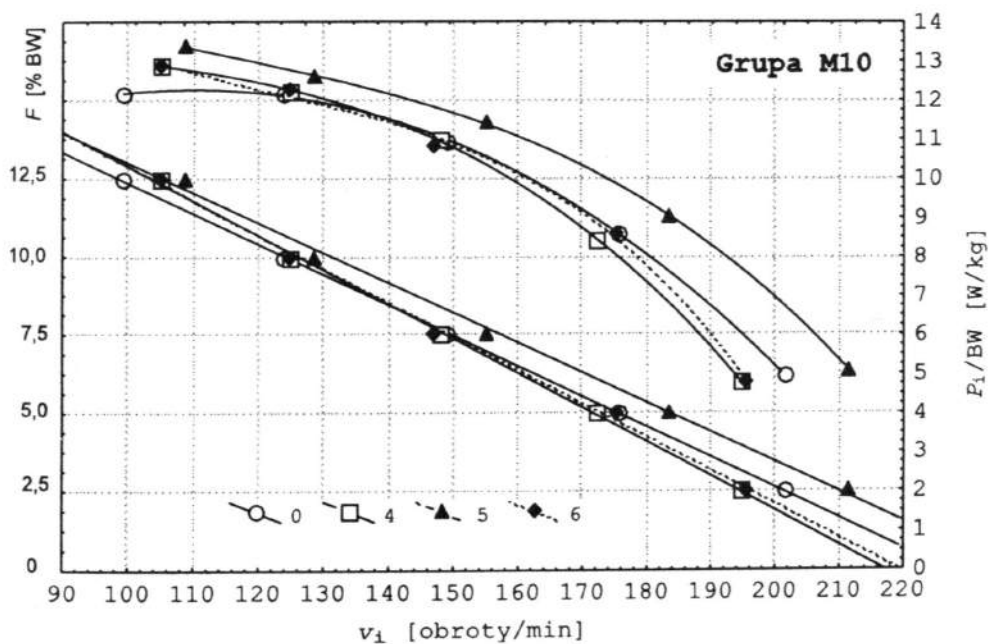
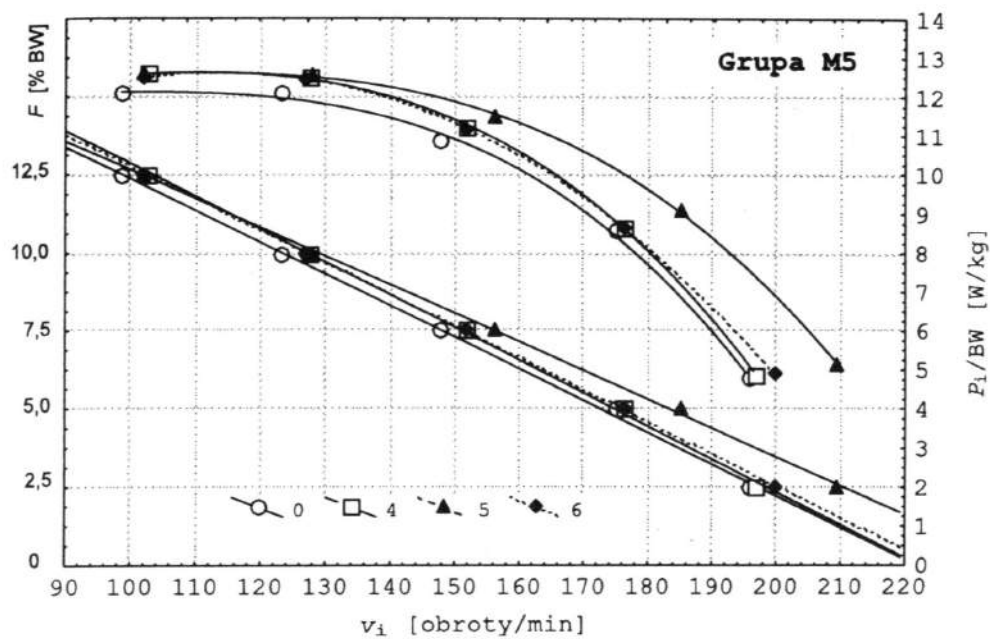
Zmienne	Grupy	0	1	2	3	4	5	6
$P_{\max}$ [W]	M10	974,7 $\pm$ 138,2	1005,0 $\pm$ 156,7	1012,7* $\pm$ 141,0	1006,5 $\pm$ 154,1	1007,6 $\pm$ 147,5	1040,8* $\pm$ 155,3	1015,8* $\pm$ 159,4
	M5	973,9 $\pm$ 154,5	967,5 $\pm$ 158,0	984,5 $\pm$ 157,7	956,0 $\pm$ 160,5	1009,0* $\pm$ 151,4	1031,8* $\pm$ 174,8	999,1 $\pm$ 155,7
	W80	1020,3 $\pm$ 160,1	1004,7 $\pm$ 171,4	1008,4 $\pm$ 138,0	1022,9 $\pm$ 142,8	1074,3* $\pm$ 142,7	1029,6 $\pm$ 147,9	1051,4 $\pm$ 170,1
	W45	1017,4 $\pm$ 123,7	1000,9 $\pm$ 109,8	1002,5 $\pm$ 123,5	1019,3 $\pm$ 162,5	1077,7* $\pm$ 139,6	1047,1 $\pm$ 131,6	1032,7* 133,6
$P_{\max}/BM$ [W/kg]	M10	12,54 $\pm$ 0,93	12,93 $\pm$ 1,33	13,05* $\pm$ 1,28	12,96 $\pm$ 1,33	12,96 $\pm$ 1,05	13,41* $\pm$ 1,39	13,04* $\pm$ 1,08
	M5	12,48 $\pm$ 0,68	12,39 $\pm$ 0,85	12,61 $\pm$ 0,70	12,25 $\pm$ 0,95	12,93* $\pm$ 0,59	13,22* $\pm$ 0,91	12,81 $\pm$ 0,87
	W80	12,70 $\pm$ 0,58	12,50 $\pm$ 0,68	12,60 $\pm$ 0,64	12,78 $\pm$ 0,87	13,42* $\pm$ 0,65	12,85 $\pm$ 0,75	13,10 $\pm$ 1,01
	W45	12,80 $\pm$ 0,93	12,61 $\pm$ 0,95	12,63 $\pm$ 1,14	12,78 $\pm$ 1,11	13,55* $\pm$ 1,06	13,18 $\pm$ 1,23	12,99# $\pm$ 1,13
$v_o$ [obroty/min]	M10	115,8 $\pm$ 12,9	112,0 $\pm$ 10,3	109,6 $\pm$ 12,8	109,8 $\pm$ 11,7	105,7* $\pm$ 11,5	112,6 $\pm$ 11,9	110,2 $\pm$ 15,5
	M5	113,0 $\pm$ 12,4	112,3 $\pm$ 15,7	112,0 $\pm$ 13,1	116,8 $\pm$ 9,4	115,5 <sup>a</sup> $\pm$ 12,9	118,8 $\pm$ 19,9	111,4 $\pm$ 10,2
	W80	116,4 $\pm$ 12,6	113,1 $\pm$ 12,3	113,5 $\pm$ 8,5	114,3 $\pm$ 9,87	110,2 $\pm$ 8,8	110,9 $\pm$ 10,7	112,9 $\pm$ 11,3
	W45	117,3 $\pm$ 13,9	114,9 $\pm$ 10,9	110,1* $\pm$ 9,9	112,8 $\pm$ 11,0	114,8 9,1	109,0* $\pm$ 10,4	105,7* $\pm$ 12,5

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; BM – masa ciała; \* – średnie różnią się istotnie między pomiarem przed rozpoczęciem badań (0) a kolejnymi pomiarami: (1-4) – czterotygodniowy trening, (5-6) – dwutygodniowy okres potreningowy ( $p < 0,05$ ); M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ .

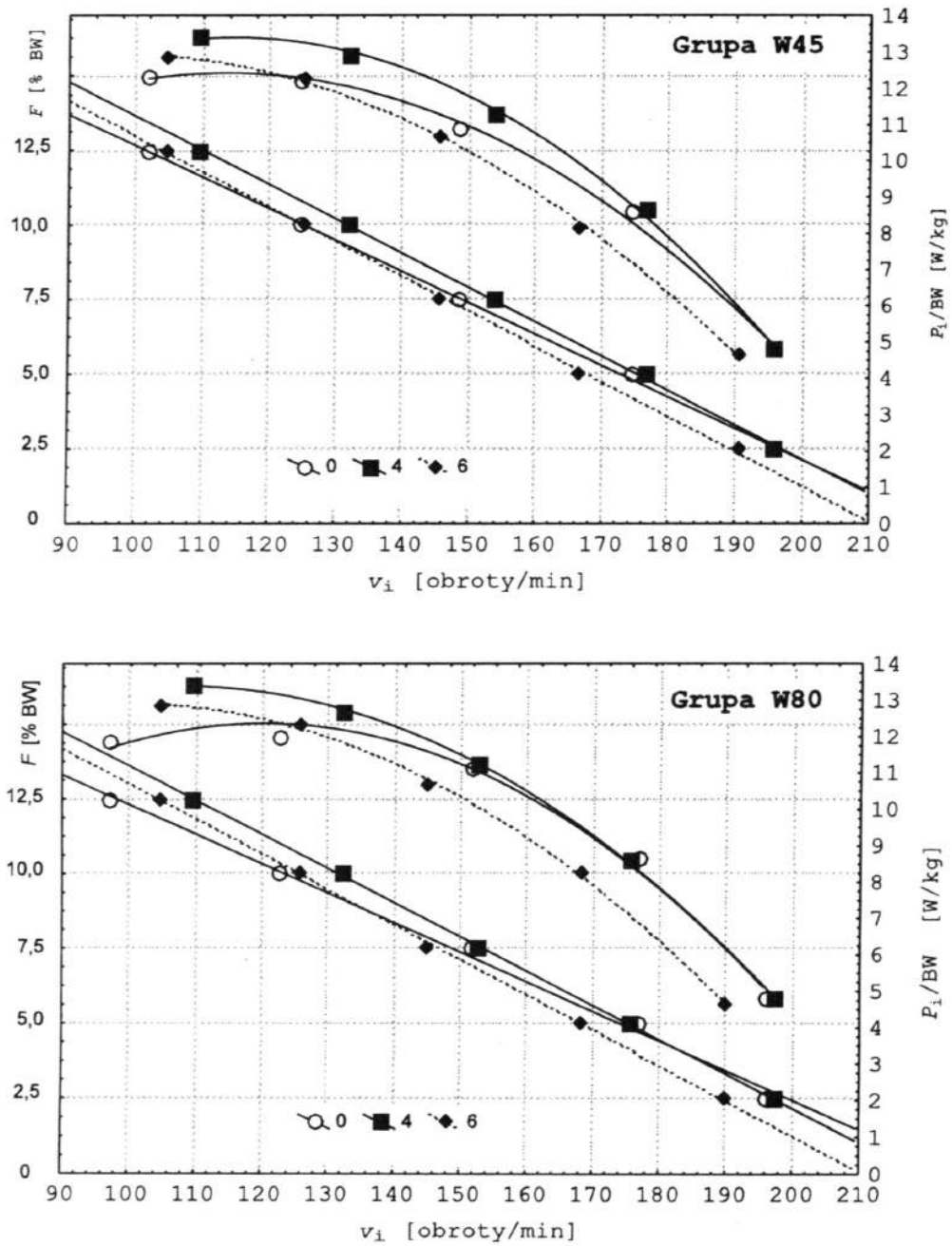
**Tabela 18.** Współczynniki korelacji liniowej między mocą maksymalną ( $P_{\max}$ ) obliczoną z zależności  $P-v$  a mocą maksymalną ( $P_{\max\text{CMJ}}$ ), mocą średnią ( $P_{\text{mCMJ}}$ ) i wysokością uniesienia środka masy ciała ( $h_{\text{CMJ}}$ ) w wyskoku CMJ i SJ

Zmienne	Grupy	Wartości bezwzględne			Wartości względne		
		0	4	5	0	4	5
$P_{\max}$ vs. $P_{\max\text{CMJ}}$	M10	0,70*	0,86*	0,88*	0,61	0,73*	0,89*
	M5	0,84*	0,78*	0,61*	0,88*	0,64*	0,48
	W80	0,49	0,47	0,69*	0,21	0,47	0,45
	W45	0,59*	0,75*	0,67*	0,36	0,62*	0,68*
$P_{\max}$ vs. $P_{\text{mCMJ}}$	M10	0,74*	0,90*	0,82*	0,62	0,77*	0,84*
	M5	0,66*	0,69*	0,43	0,58	0,64*	0,30
	W80	0,46	0,40	0,43	0,43	0,54	0,26
	W45	0,46	0,79*	0,61*	0,33	0,64*	0,51
$P_{\max}$ vs. $h_{\text{CMJ}}$	M10	0,72*	0,61	0,44	0,81*	0,87*	0,90*
	M5	-0,15	-0,09	-0,10	0,72*	0,28	0,53
	W80	-0,30	-0,50	-0,14	0,19	0,38	0,15
	W45	-0,01	0,31	0,34	0,46	0,60*	0,59*
$P_{\max}$ vs. $P_{\max\text{SJ}}$	M10	0,88*	0,71*	0,85*	0,68*	0,84*	0,89*
	M5	0,67*	0,57	0,36	0,61*	0,35	0,47
$P_{\max}$ vs. $P_{\text{mSJ}}$	M10	0,50	0,47	0,69*	0,65	0,85*	0,88*
	M5	0,44	0,48	-0,07	0,12	0,21	0,17
$P_{\max}$ vs. $h_{\text{SJ}}$	M10	0,54	0,55	0,65	0,56	0,76*	0,83*
	M5	-0,48	-0,02	-0,50	0,29	0,30	0,02

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstotliwości pedałowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; pomiar przed rozpoczęciem badań (0), po czterotygodniowym treningu (4), po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów (5); \* –  $p < 0,05$ .



**Rycina 30.** Charakterystyki  $F$ - $v$  (dolne) i  $P$ - $v$  (górne) uzyskane przez badanych grup M5 i M10 przed rozpoczęciem (0), po 4 tygodniach treningu (4), po 1 tygodniu od zakończenia treningów (5) i po 2 tygodniach od zakończenia treningów (6)



Rycina 31. Charakterystyki  $F$ - $v$  (dolne) i  $P$ - $v$  (górne) uzyskane przez badanych grup W45 i W80 przed rozpoczęciem (0), po 4 tygodniach (4) i po 2 tygodniach od zakończenia treningów (6)

### 3.4.6. Podsumowanie wyników II części pracy

Zebrane wyniki pomiarów pozwoliły na sformułowanie konkluzji oraz graficzne przedstawienie najważniejszych efektów i kierunków zmian głównych wskaźników siły, mocy i skoczności pod wpływem treningu na cykloergometrze wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi o mocy 250 W (Tabela 19).

#### **Maksymalne momenty sił mięśniowych**

1. Trening na cykloergometrze powoduje przyrosty wartości momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym. W pozostałych stawach rezultat zależy od rodzaju treningu:
  - trening złożony z wysiłków maksymalnych powodował wzrost wartości momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym, a realizowany wysiłkami o stałej mocy 250 W zmniejszenie wartości  $M_m$  w tym stawie,
  - treningi wysiłkami maksymalnymi z obciążeniem 5% BW i wysiłkami o stałej mocy 250 W wykonywanymi z częstością pedałowania 45 obrotów/min powodowały zwiększenie wartości rozwijanych momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym,
  - treningi złożone z wysiłków maksymalnych z obciążeniem 10% BW i wysiłków o stałej mocy 250 W wykonywanych z częstością pedałowania 45 obrotów/min powodowały istotne zwiększenie wartości rozwijanych momentów sił mięśniowych mięśni zginających podszwowo stopę,
  - trening realizowany wysiłkami maksymalnymi z obciążeniem 10% BW nie wywołał zmian a z obciążeniem 5% BW spowodował nieistotny wzrost, podczas gdy treningi realizowane wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W powodowały nieistotne zmniejszenie wartości momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym,
  - trening realizowany wysiłkami maksymalnymi spowodował istotny wzrost sumy momentów sił mięśniowych badanych 5 zespołów mięśniowych, a treningi złożone z wysiłków submaksymalnych wywołały istotne zmniejszenie w grupie W80 i brak zmian w W45.

#### **Moc maksymalna, moc średnia i wysokość uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej**

1. Treningi realizowane wysiłkami maksymalnymi i wysiłkami o stałej mocy 250 W wpłynęły na zwiększenie mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w wyskokach CMJ i SJ.

**Tabela 19.** Najważniejsze kierunki zmian głównych wskaźników siły, mocy i skoczności pod wpływem treningu na cykloergometrze realizowanego wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi o mocy 250 W oraz istotność różnic średnich dla wartości względnych między grupami

	M10	M5	W80	W45
Momenty sił mięśniowych w statyce				
PB	↑↑	↑↑	↑	↑
ZB	↑↑	↑↑	↓ <sup>ab</sup>	↓ <sup>ab</sup>
PK	=	↑↑	↓	↑↑ <sup>c</sup>
ZK	=	↑	↓	↓
ZPS	↑↑	↑	↑	↑↑
Wyskok CMJ				
$P_{maxCMJ}$	↑↑	↑↑	↑↑	↑
$P_{mCMJ}$	↑	↑↑	↑↑	↑
$h_{CMJ}$	↓	↑	↓	↓
Wyskok SJ				
$P_{maxSJ}$	↑	↑		
$P_{mSJ}$	↑	↑		
$h_{SJ}$	↓	↓		
Zależność $F-v$				
$P_{n2,5}$	↑	↑↑	= <sup>ab</sup>	= <sup>ab</sup>
$P_{n5,0}$	↑↑	↑↑	↓ <sup>ab</sup>	= <sup>ab</sup>
$P_{n7,5}$	↑↑	↑↑	=	↑
$P_{n10,0}$	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
$P_{n12,5}$	↑↑	↑	↑↑ <sup>b</sup>	↑↑ <sup>b</sup>
$P_{max}$	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
$v_o$	↓	↑ <sup>a</sup>	↓	↓
Test Wingate				
$P_{max30}$	=	↑	=	↑
$P_{m30}$	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; momenty sił mięśniowych mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie biodrowym i kolanowym oraz zginających podszwowo stopę (PB, ZB, PK, ZK, ZPS, odpowiednio), moc maksymalna ( $P_{maxCMJ}$ ), moc średnia ( $P_{mCMJ}$ ), wysokość uniesienia środka masy ciała ( $h_{CMJ}$ ) w wyskoku CMJ, moc maksymalna ( $P_{maxSJ}$ ), moc średnia ( $P_{mSJ}$ ), wysokość uniesienia środka masy ciała ( $h_{SJ}$ ) w wyskoku SJ, największa moc ( $P_i$ ) otrzymana przy zadanym obciążeniu od 2,5 do 12,5% BW, co 2,5% BW podczas wyznaczania charakterystyk moc-prędkość i moc maksymalna ( $P_{max}$ ) i prędkość optymalna ( $v_o$ ) obliczona z zależności moc-prędkość, moc maksymalna ( $P_{max30}$ ) i moc średnia ( $P_{m30}$ ) rozwijana w 30-s wysiłku maksymalnym; = – brak zmian, ^ – zmiany nieistotne w przedziale ( $\pm 2-9\%$ ); ↑↓ – zmiany istotne,  $p < 0,05$ ; M10 vs. M5, W80, W45, <sup>a</sup> –  $p < 0,05$ , M5 vs. W80, W45, <sup>b</sup> –  $p < 0,05$ , W80 vs. W45, <sup>c</sup> –  $p < 0,05$ .

2. Trening realizowany wysiłkami maksymalnymi z dużymi częstotliwościami pedałowania (grupa M5) wywołał największe zmiany mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w wyskoku CMJ po 4 tygodniach treningu, a realizowany wysiłkami o dużym obciążeniu i małej prędkości (grupa M10) po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów.
3. Trening na cykloergometrze spowodował we wszystkich grupach istotne obniżenie skoczności mierzonej wysokością unoszenia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ, z wyjątkiem grupy M5 w CMJ – nieistotny wzrost, chociaż nastąpiło istotne zwiększenie wartości rozwijanej mocy maksymalnej (M10, M5, W80) i mocy średniej (M5, W80).
4. Obserwowane różnice między grupami, we wszystkich analizowanych przypadkach były nieistotne z wyjątkiem mocy maksymalnej względnej rozwijanej w wyskoku CMJ przez badanych grup M10 i M5 po 4 tygodniach treningu. Z powodu wystąpienia w grupie M10 największych przyrostów mocy maksymalnej względnej w pierwszym tygodniu od zakończenia treningów, tej różnicy nie interpretowano jako biomechanicznie istotnej.

***Moc maksymalna i moc średnia rozwijana podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze oraz stężenie kwasu mlekowego***

1. Moc maksymalna rozwijana w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym nie uległa istotnej zmianie pod wpływem treningu realizowanego wysiłkami maksymalnymi i wysiłkami o stałej mocy 250 W.
2. Wszystkie treningi wykonywane na cykloergometrze spowodowały istotny przyrost mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,
  - treningi realizowane wysiłkami maksymalnymi spowodowały istotny wzrost mocy średniej obliczanej w pierwszych 10 sekundach i w pozostałych 20 sekundach trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego tylko w grupie M5,
  - treningi realizowane wysiłkami submaksymalnymi spowodowały istotny wzrost mocy średniej obliczanej w ostatnich 20 sekundach trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w obu grupach,
  - istotne różnice między grupami M10 i M5 obserwowano dla procentowych zmian  $P_{m10}$  po 2 tygodniach od zakończenia treningu.
3. Czterotygodniowe treningi wykonywane na cykloergometrze spowodowały obniżenia stężenia mleczanów po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym w porównaniu z wartościami LA otrzymanymi w pomiarach przed rozpoczęciem treningów we wszystkich grupach.
4. Istotnemu obniżeniu stężenia mleczanów po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym w porównaniu z wartościami LA otrzymanymi w pomiarach przed rozpoczęciem treningów towarzyszył przyrost mocy średniej.

### **Charakterystyki siła-prędkość i moc-prędkość mięśni kończyn dolnych**

1. Największy wzrost mocy mierzonej w charakterystykach  $F-v$  obserwowano po 1 tygodniu od zakończenia czterotygodniowych treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi w grupach M5 i M10 oraz bezpośrednio po 4 tygodniach treningu z użyciem trzyminutowych wysiłków o stałej mocy 250 W w grupach W45 i W80. W grupach M5 i M10 największe potreningowe zmiany mocy obserwowano przy obciążeniu 2,5, 5 i 7,5% BW a w grupach W45 i W80 przy obciążeniu 10 i 12,5% BW.
2. Największy wzrost mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności  $P-v$  obserwowano po 1 tygodniu od zakończenia czterotygodniowych treningów złożonych z wysiłków maksymalnych w grupach M5 i M10 oraz bezpośrednio po 4 tygodniach treningu z użyciem trzyminutowych wysiłków o stałej mocy 250 W w grupach W45 i W80. Wszystkie cztery rodzaje treningów spowodowały podobny wzrost mocy maksymalnej o 5,9% ( $p < 0,05$ , W80, W45, M5) i 6,9% ( $p < 0,05$ , M10).
3. W treningach wysiłkami maksymalnymi przyrost mocy maksymalnej został osiągnięty w różny sposób: w grupie M5 przez zwiększenie prędkości a w M10 przez zwiększenie siły. W grupach W45 i W80 wzrost mocy maksymalnej nastąpił w wyniku zwiększenia siły.
4. Częstość pedałowania nie ma wpływu na wartość współczynników kierunkowych prostej zależności siła-prędkość.
5. Intensywność treningów (trening realizowany wysiłkami maksymalnymi vs. trening złożony z wysiłków o stałej mocy 250 W) ma wpływ na wartości współczynników kierunkowych prostej zależności siła-prędkość.

### **3.5. Dyskusja**

Głównym osiągnięciem drugiej części pracy było wykazanie, że częstość pedałowania (w obrębie tych samych rodzajów wysiłków: M10 vs. M5 i W45 vs. W80) i intensywność treningów (trening wysiłkami maksymalnymi vs. trening z użyciem wysiłków o stałej mocy 250 W) wykonywanych na cykloergometrze nie różnicowały istotnie potreningowego wzrostu:

- maksymalnych momentów sił mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym,
- mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej podczas wyskoków CMJ i SJ na platformie dynamometrycznej,
- mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,
- mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności moc-prędkość.

Wyniki badań wykazały, że zmiany momentów sił mięśniowych mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie kolanowym, zginających kończynę



w stawie biodrowym, oraz wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ zależą od częstości pedałowania i intensywności treningów.

Za niespodziewane należy uznać:

- obniżenie skoczności, mierzonej wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ, mimo wzrostu mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w tych wyskokach oraz zwiększenia mocy maksymalnej obliczanej z zależności moc-prędkość i mocy średniej rozwijanej w 30-s wysiłku maksymalnym na cykloergometrze.

### **3.5.1. Maksymalne momenty sił mięśniowych**

W prezentowanej pracy treningi realizowane wysiłkami maksymalnymi („sprinterskie”) i trzyminutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W („wytrzymałościowe”) spowodowały przyrosty:

- momentów sił mięśniowych mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie biodrowym i mięśni zginaczy podszwowych stopy w grupie M10,
- mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie biodrowym i kolanowym w grupie M5,
- mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym w grupie W80,
- mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym i kolanowym, zginaczy podszwowych stopy w grupie W45

oraz spadek wartości momentów sił mięśni zginających kończynę w stawach biodrowym i kolanowym w grupach W80 i W45.

Otrzymane w tych badaniach wyniki momentów sił mięśniowych są tylko częściowo zgodne z rezultatami wcześniejszych badań innych autorów. W pracy Hicksona [162] stwierdzono, że 10 tygodniowy trening siły połączony z treningiem wytrzymałościowym daje mniejsze efekty niż sam trening siły. Natomiast trening wytrzymałościowy (wykonywany na cykloergometrze i w formie biegu) nie spowodował zmian. Również w pracy Kraemera i wsp. [199] stwierdzono, że połączony trening siły z treningiem wytrzymałości powodował mniejsze zmiany siły mięśni i mocy maksymalnej mierzonej w teście Wingate w porównaniu z samym treningiem siły. Natomiast trening wytrzymałościowy (wykonywany w formie biegu) nie spowodował zmian mocy maksymalnej mierzonej w teście Wingate oraz wielkości unoszonego maksymalnego ciężaru w wybranych ćwiczeniach. To zdaniem Craiga i wsp. [95] sugeruje, że trening wytrzymałościowy może ograniczać zdolności mięśni do rozwijania siły i zakłócać długotrwały cykl jej zwiększania. Również zdaniem Pauletto [254] trening wydolności tlenowej wpływa negatywnie na przyrost poziomu siły. W prezentowanej pracy, trening „wytrzymałościowy” realizowany na cykloergometrze wysiłkami o stałej mocy 250 W, spowodował:

- nieistotny procentowy wzrost momentów sił mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym,
- istotny wzrost momentów sił mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym
- istotny wzrost momentów sił mięśni zginaczy podszwowych stopy mierzonych w warunkach statyki w grupie W45,
- nieistotny wzrost PB i ZPS w grupie W80,
- spadek procentowych wartości  $M_m$  mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym i kolanowym w grupie W45,
- spadek wartości ZB, PK i ZK w grupie W80.

Powyższe rezultaty badań własnych potwierdziły wyniki wcześniejszych prac. Te wyniki sugerują, że końcowy efekt treningu zależy od mierzonej przez badaczy grupy mięśniowej oraz od szybkości wykonywania ćwiczeń treningowych. W pracy Shealy'ego i wsp. [282] po biegowym treningu sprinterskim moment siły mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym (warunki izokinetyczne) wzrósł dla wszystkich testowych prędkości (0, 0,84, 1,65, 2,51, 3,35, 4,19, 5,03 rad/s), a w grupie wytrzymałościowej wzrósł dla 2,51, 3,34, 4,19 i 5,03 rad/s. Moment mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym obniżył się w grupie sprinterskiej przy prędkości 0, 0,84, 1,65 i 2,51 rad/s. W grupie wytrzymałościowej nie uległ zmianie dla wszystkich mierzonych prędkości. W doniesieniu Sleiverta i wsp. [288] badani grupa I przez 14 tygodni wykonywali: trening „sprinterski” na cykloergometrze złożony z wysiłków 10 i 120 s; grupa II – trening mieszany (przez 8 tygodni trening siły, później przez 6 tygodni identyczny trening siły jak w pierwszym tygodniu i dodatkowo trening „sprinterski” jak w grupie I). Trening szybkościowy nie spowodował w obu grupach istotnych wzrostów siły izometrycznej i dynamicznej mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym i zginaczy podszwowych stopy mierzonych na urządzeniu Cybex. W pracy McKenna i wsp. [230] po 7-tygodniowym treningu szybkościowym na cykloergometrze Monark (maksymalne wysiłki 30 s z obciążeniem 7,5% BW, wykonywane 3 razy w tygodniu) nie obserwowano zmian maksymalnej siły izometrycznej mięśnia czworogłowego uda (dane niepublikowane). Mimo że według Linossiera i wsp. [208] cykloergometr jest odpowiednim urządzeniem do rozwijania specyficznej, kurczliwej adaptacji do treningu „sprinterskiego” mięśnia czworogłowego uda, który rozwija 40% mocy podczas pedałowania. Natomiast w pracy Fidelusa i wsp. [129] po 4 tygodniowym treningu „sprinterskim”, wykonywanym 5 razy w tygodniu na cykloergometrze (15-sekundowe wysiłki maksymalne o intensywności 0,7  $P_{max}$  z przerwą odpoczynkową między seriami 120 s), stwierdzono zmianę momentów sił mięśniowych PB z  $447 \pm 97$  do  $528 \pm 76$  N·m (18%) po czterech tygodniach treningu i do  $547 \pm 22$  N·m (22%) po pierwszym tygodniu od zaprzestania treningów ( $p < 0,05$ ) oraz ZB z  $181 \pm 27$  do  $194 \pm 32$  N·m (7%) po pierwszym tygodniu od zaprzestania treningów ( $p < 0,05$ ). W stawie kolanowym zanotowano spadek wartości momentów sił mięśni

prostujących kończynę z  $276 \pm 44$  do  $258 \pm 46$  N·m (-6%) ( $p < 0,05$ ) i wzrost wartości  $M_m$  dla mięśni zginających z  $135 \pm 26$  do  $143 \pm 24$  N·m (6%) po czterech tygodniach treningu i do  $154 \pm 29$  N·m (14%) po pierwszym tygodniu od zaprzestania treningów ( $p < 0,05$ ). ZPS wzrosły istotnie z  $237 \pm 44$  do  $258 \pm 34$  N·m (34%) dopiero po dwóch tygodniach od zaprzestania treningów ( $p < 0,05$ ). W naszej pracy badani rozwijali niższe wartości momentów sił mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym i zginających kończynę w stawie kolanowym od grupy z badań Fidelusa i wsp. [129]. Również otrzymane w prezentowanej pracy zmiany [%] momentów sił po treningu szybkościowym realizowanym wysiłkami maksymalnymi są niższe niż w doniesieniu Fidelusa i wsp. [129]. Jednak kierunek zaobserwowanych zmian w grupie M10 i M5 jest podobny w przypadku momentów sił mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym, zginających w stawie kolanowym (z wyjątkiem M10) i mięśni zginaczy podeszwowych stopy (z wyjątkiem M5). Odmienny jest w przypadku mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym. Brak jest pełnego wyjaśnienia przyczyn stwierdzonych różnic między wynikami badań własnych oraz badań Fidelusa i wsp. [129] dotyczących kierunku zmian momentów sił mięśniowych kończyn dolnych. Różnice w rezultatach badań dotyczą także kierunku zmian momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym i zginających kończynę w stawie biodrowym w zależności od wykonywanego treningu. Stwierdzone różnice kierunku zmian momentów sił między rezultatami tych badań oraz Fidelusa i wsp. [129] prawdopodobnie wynikały z zastosowania innej metodyki treningu. Za zaskakujący należy również uznać otrzymany rezultat zastosowania dwóch treningów szybkościowych różniących się stosowanym obciążeniem. Grupa M5 wykonująca maksymalne wysiłki z wyższą częstością pedałowania i niższą intensywnością niż M10 uzyskała podobne zmiany momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym i większe dla mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym. Natomiast Urbanik [317] zaobserwował większe procentowe przyrosty momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym i kolanowym oraz mięśni zginaczy podeszwowych stopy w grupie, która nie stosowała dodatkowego obciążenia w czasie treningów polegających na wykonywaniu maksymalnych odbić na urządzeniu treningowym „równia pochyła” w porównaniu z badanymi trenującymi z dodatkowym obciążeniem.

W pracy Ericson [112] stwierdzono, że zmiana prędkości pedałowania nie zmienia proporcji udziałów pracy wykonywanej w poszczególnych stawach w całkowitej pracy wykonanej podczas jednego pełnego obrotu na cykloergometrze. Proporcje udziałów pracy w poszczególnych stawach wynosiły w fazie naciskania ( $0-180^\circ$ ): BP – 28,3%, BZ – 7,8%, KP – 35,3%, KZ – 11,2%, ZPS – 17,4%, w fazie unoszenia ( $180-360^\circ$ ): BP – 37,6%, BZ – 3,8%, KP – 24%, KZ – 4,5%, ZPS – 30,1%. Z tych rezultatów wynika, że w stawie skokowo-goleniowym mięśnie pracują przez cały cykl pedałowania. W stawie biodrowym mięśnie pracują

pozytywnie w fazie naciskania (0-180°) a w fazie unoszenia (180-270°) negatywnie i 270-360° pozytywnie. W stawie kolanowym mięśnie wykonują pracę pozytywną w fazie naciskania (0-180°) a w fazie unoszenia (180-270°) pozytywnie i 270-360° negatywnie. Według van Ingen Schenau'a i wsp. [318, 319] podczas pedałowania mięśnie jednostawowe pracują koncentrycznie („napędzająco”). Mięśnie dwustawowe utrzymują odpowiedni kierunek działania sił reakcji na pedałach i dążą do najlepszego wykorzystania pracy mięśni jednostawowych w rozwijaniu momentu stawowego netto w poszczególnych stawach. Zginacze kolana pracują ekscentrycznie tylko jako mięśnie utrzymujące/nadające kierunek sile reakcji wywieranej na pedałach, podczas gdy prostowniki kolana pracują koncentrycznie. Rectus femoris jako mięsień dwustawowy reguluje rozkładem momentu netto w stawach biodrowych i kolanowych, niezbędnych do kontroli zmian kierunku działania sił na pedałach. Podczas pedałowania główną siłą napędową są mięśnie prostujące kończynę dolną w stawach biodrowych, kolanowych i zginacze podszwowe stopy. Stąd dziwi występująca w tych badaniach tak duża różnica w zmianach momentów sił mięśniowych dla mięśni prostujących (M10 = +1,5%, M5 = +7,2%, W80 = -5,9%, W45 = +9,6%) i zginających (M10 = -1,5%, M5 = +3,3%, W80 = -5,5%, W45 = -6,6%) kończynę w stawie kolanowym, mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym (M10 = +12,5%, M5 = +12,0%, W80 = -16,5%, W45 = -10,2%) oraz mięśni zginaczy podszwowych stopy (M10 = +9,6%, M5 = +2,9%, W80 = +4,4%, W45 = +11,8%) między grupami. Uzyskane przez badanych grup M5 i W80 wartości  $M_m$  mięśni zginaczy podszwowych stopy mogą sugerować, że wzrost częstości pedałowania „wyłącza” z pracy tę grupę mięśni (brak istotnych potreningowych zmian  $M_m$ ). Jest to zgodne z doniesieniami McCartney'a i wsp. [228], Sargeanta i wsp. [273] oraz Takaiishi i wsp. [303], którzy stwierdzili, że w wysiłku o stałej mocy siła rozwijana na pedałach ulega obniżeniu wraz ze wzrostem częstości pedałowania. Z kolei wyniki uzyskane przez Pattersona i Moreno [251] sugerują, że pedałowanie z częstością 90-110 obrotów/min może minimalizować siłę nacisku na pedały. Również Ericson i wsp. [110], Ericson [111] uważają, że zdolności sprinterskie zależą od kurczliwych i elastycznych charakterystyk mięśni. Natomiast uzyskane duże przyrosty ZPS w grupach M10 i W45 są w zgodzie z wynikami Signorile i wsp. [284], którzy poprawę ZPS obserwowali tylko po treningu izokinetycznym wykonywanym z małą prędkością w stawie skokowo-goleniowym. Trening wykonywany na cykloergometrze, który realizowano podczas badań własnych nie spowodował istotnych zmian ZK. Uzyskany wynik jest zbieżny z rezultatami Signorile i wsp. [284], w których pracy trening na urządzeniach izokinetycznych realizowany w poszczególnych stawach kończyn dolnych wykonywany z małą i dużą prędkością nie spowodował zmian w zginaczach kolana w obu grupach.

Jazda na rowerze dotyczy głównie pracy koncentrycznej z małą ilością pracy ekscentrycznej, szczególnie prostowników stawu kolanowego. Jednak wyniki

badania dotyczących bioelektrycznej aktywności mięśni podczas pedałowania są niejednoznaczne. W pracy Sarre'a i wsp. [277] nie stwierdzono istotnych różnic w obrazie EMG dla mięśni vastus laterale i vastus mediale w zależności od częstości pedałowania i mocy wysiłku. W przypadku mięśnia rectus femoris najmniejsze wartości EMG zanotowano przy częstości pedałowania 85 obrotów/min w porównaniu z częstością 60 i 100 obrotów/min. Natomiast w doniesieniu Takaishi i wsp. [303] obserwowano wzrost bioelektrycznej aktywności mięśni vastus laterale i vastus mediale ze wzrostem częstości pedałowania. Również w pracy Neptune i wsp. [239] bioelektryczna aktywność mięśnia vastus mediale rosła ze wzrostem częstości pedałowania, podczas gdy dla rectus femoris nie powodowało to istotnych zmian. W pracach Neptune i wsp. [239] oraz Takaishi i wsp. [303] wzrostowi częstości pedałowania towarzyszył wzrost bioelektrycznej aktywności mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym, co zdaniem tych drugich autorów powoduje, że mięśnie zginające wspomagają pracę mięśni prostujących kończynę w tym stawie. Może takie podłoże ma stwierdzony w tej pracy nieznaczny wzrost momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym w grupie M5 oraz mniejszy procentowy spadek ZK w grupie M10 w porównaniu z W80 i W45. Brak potreningowych przyrostów ZK może wynikać również z tego, że pełnią one funkcję „kierunkową” a nie napędową” [318, 319]. Natomiast zmiany PK trudno jest wytłumaczyć bioelektryczną aktywnością pracy mięśnia czworogłowego uda ze względu na rozbieżne (sprzeczne) wyniki dotyczące zmian EMG poszczególnych głów mięśnia czworogłowego uda podczas pedałowania na cykloergometrze.

Stwierdzone w tej pracy zmiany PK i ZK mogą wynikać również z wpływu kąta pomiaru momentów sił mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie kolanowym wynoszącego  $90^\circ$ . Najczęściej siłę izometryczną w stawie kolanowym mierzono przy kącie  $90^\circ$  [6, 39, 57, 58, 62, 64, 65, 67, 179, 190, 202, 248, 262, 312, 314] a siłę dynamiczną w zakresie  $90-180^\circ$  [40, 284, 307]. Moment sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym przy wzroście obciążenia, osiąga maksymalne wartości przy kącie  $110^\circ$  a następnie maleje [262]. Häkkinen i wsp. [145] wykazali, że siła rozwijana przez mięśnie prostujące staw kolanowy w warunkach dynamiki osiągała maksymalne wartości przy kącie  $120^\circ$ , a w pracy Bobera i wsp. [40] przy  $110^\circ$ . Największe wartości momentów sił mięśniowych mięśni zginających staw kolanowy otrzymano przy  $150-160^\circ$  [40]. Natomiast w pracy Murphy'ego i wsp. [238] optymalny kąt do rozwijania maksymalnej siły izometrycznej w stawie kolanowym określono na  $110^\circ$ . W doniesieniu Ostrowskiej i wsp. [248] największe momenty sił mięśniowych mięśni prostujących w stawie kolanowym w warunkach statyki rozwijano przy kącie  $110^\circ$ , a w badaniach Fidelusa i wsp. [128] oraz Scuddera [279] przy kącie  $120^\circ$ . Stąd na otrzymane w tej pracy rezultaty w stawie kolanowym może mieć wpływ dokonywanie pomiarów momentów sił mięśniowych przy kącie  $90^\circ$ , a nie optymalnym.

W piśmiennictwie spotyka się prace, w których autorzy na podstawie wyników pomiarów momentów sił mięśniowych w statyce obliczają wskaźnik siły tzw. „zginacze-prostowniki” [38, 68, 107, 108, 182, 312, 314, 332]. W pracy Trzaskomy [312] wskaźnik siły „zginacze-prostowniki” u juniorów uprawiających tenis wyniósł dla stawu kolanowego 0,48 i 0,15 dla stawu biodrowego. W pracy Bobera i Haya [38] uzyskano u nietreningujących osób następujący stosunek momentów sił mięśniowych zginaczy do prostowników: staw kolanowy 0,46, staw biodrowy 0,47. Wskaźnik siły zginacze-prostowniki u przedstawicieli 9 dyscyplin sportowych, wyliczony z danych zawartych w pracy Jaszczuka i wsp. [182], wynosił w stawie kolanowym od 0,39 do 0,57 i biodrowym od 0,18 do 0,25, przy czym w przypadku stawu kolanowego zmieniał się w wąskim przedziale od 0,49 do 0,54 dla przedstawicieli 6 dyscyplin sportowych. W pracy Buśko [63] stosunek momentów sił mięśniowych zginaczy do prostowników w stawie kolanowym wyniósł 0,62 u kadetów i juniorów do lat 19 i 0,68 u seniorów koszykarzy. W przypadku stawu biodrowego wynosił odpowiednio: 0,41, 0,37, 0,36. W pracy Buśko i wsp. [68] wskaźnik siły „zginacze-prostowniki” dla stawu kolanowego u zawodników trójboju siłowego wynosił 0,47, natomiast w przypadku osób nietreningujących otrzymano wyższe wartości (0,63). W pracy Trzaskomy i Trzaskomy [313] wskaźniki siły „zginacze-prostowniki” dla stawu biodrowego i kolanowego u 70 zawodników różnych dyscyplin sportowych wynosiły odpowiednio: 0,20 i 0,43. W doniesieniu Dworaka i wsp. [108] wskaźnik siły „zginacze-prostowniki” dla stawu biodrowego wyniósł 1,0 i było to spowodowane przyjętą odmienną metodą pomiaru momentów sił mięśniowych w tym stawie (pozycja stojąc). Uzyskane w prezentowanej pracy wartości wskaźnika siły „zginacze-prostowniki” dla stawu kolanowego są zgodne z wynikami prac Buśko [63] i Buśko i wsp. [68], którzy badali osoby nietreningujące i koszykarzy. Również wskaźnik uzyskany dla stawu biodrowego wydaje się zbliżonym do wartości uzyskanych u osób nietreningujących przez Bobera i Haya [38]. Jednak wyniki naszych badań wskazują, że przy porównywaniu wartości wskaźnika siły „zginacze-prostowniki” należy brać pod uwagę nie tylko pozycje pomiarowe, ale również fakt, że wskaźnik może ulec istotnym zmianom już pod wpływem czterotygodniowego treningu, a w okresie dwóch tygodni od jego zakończenia powrócić do wartości sprzed treningu. Potwierdzeniem tej tezy mogą być zmiany wskaźnika siły „zginacze-prostowniki” opisane w pracy Shealy’ego i wsp. [282] po 8-tygodniowym treningu sprinterskim.

### **3.5.2. Moc maksymalna, moc średnia i wysokość uniesienia środka masy ciała podczas wyskoków poprzedzonych (CMJ) i nie poprzedzonych (SJ) zamachem na platformie dynamometrycznej**

W literaturze brak jednoznacznej opinii dotyczącej zmian mocy (rozwijanej w wyskokach CMJ, DJ i SJ) występujących po różnych typach treningów [4, 52, 131, 157, 202, 203, 289]. W pracy Thorstensson i wsp. [304] po 8-tygodniowym treningu sprinterskim składającym się z 5-sekundowych wysiłków na bieżni mechanicznej istotnie wzrosły: siła izometryczna kończyn dolnych, moc anaerobowa mierzona testem Margarii i wysokość wyskoku CMJ oraz uległ skróceniu czas biegu na 25 metrów. W pracy Häkkinena i wsp. [145] u czołowych zawodników podnoszenia ciężarów nie stwierdzono po rocznym treningu istotnych zmian w sile izometrycznej prostowników kończyn dolnych (3,5%), charakterystyk siła-prędkość mierzonych w wyskokach CMJ, DJ (drop jump) i SJ. Jedynie w wyskoku SJ wykonywanym bez dodatkowego obciążenia zmiana wysokości uniesienia środka masy ciała zwiększyła się istotnie o 9,2%. Kubo i wsp. [202] stwierdzili po 12-tygodniowym, izometrycznym treningu siły wzrost wysokości uniesienia środka masy ciała o 4,9% i brak zmian w wyskoku CMJ (0,3%). Andersen i wsp. [4] obserwowali istotne zmiany wysokości wyskoku SJ po treningu siły tylko w grupie poddanej suplementacji preparatami białkowymi oraz podobny wzrost  $h_{CMJ}$  i maksymalnego momentu siły przy prędkości 30 stopni/s w grupach poddanych suplementacji preparatami białkowymi i węglowodanowymi. W pracy Harrisa i wsp. [157] trening siły nie poprawił skoczności mierzonej w wyskoku CMJ, natomiast trening „mocy” (trening siły z obciążeniem 30% maksymalnej siły izometrycznej) poprawiał skoczność w CMJ i w skoku w dal z miejsca. W doniesieniach Fowlera i wsp. [131] oraz Trzaskomy [311] trening siły wspomagany maksymalnymi odbiciami na trenażerze wahadłowym powodował w porównaniu z treningiem tradycyjnym, większe przyrosty mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy w wyskoku CMJ oraz mniejsze zmiany wartości rozwijanych momentów sił mięśniowych kończyn dolnych. W pracy Diallo i wsp. [100] po 10-tygodniowym treningu z zastosowaniem ćwiczeń plyometrycznych obserwowano u piłkarzy nożnych istotny przyrost mocy maksymalnej określonej w charakterystykach  $F-v$  i  $P-v$  na cykloergometrze oraz mocy mierzonej w wyskoku CMJ, DJ i SJ. W grupie poddanej tradycyjnemu treningowi piłkarskiemu nie stwierdzono istotnych różnic. W doniesieniu Matavulja i wsp. [227] trening z zastosowaniem ćwiczeń plyometrycznych wywołał istotne zmiany wysokości uniesienia środka masy ciała o 4,8 cm w  $DJ_{50}$  i 5,6 cm dla  $DJ_{100}$  oraz istotny wzrost siły mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym. W pracy Smiliosa i wsp. [289] 8-tygodniowy trening mocy z wykorzystaniem optymalnej wysokości zeskoku w wyskoku DJ (wysokość ze-

skoku, po której wykonano najwyższy wyskok) spowodował istotnie większy wzrost wysokości kontrolnych wyskoków CMJ i SJ w porównaniu z grupami wykonującymi trening z zastosowaniem ćwiczeń plyometrycznych z wysokością zeskoku niższą o 25% od optymalnej i dodatkowo poddanej treningowi siły. Natomiast w pracy Wilsona i wsp. [330] trening siły z obciążeniem optymalnym (obciążenie, przy którym rozwijano największą moc) spowodował istotnie większy wzrost  $h_{CMJ}$  (17,6%) i  $h_{SJ}$  (15,2%) w porównaniu z treningiem mocy (wzrost  $h_{CMJ}$  o 10,3% i  $h_{SJ}$  o 7,2%) podczas gdy trening siły z obciążeniem 90-100% 1 CM spowodował istotny wzrost  $h_{CMJ}$  o 5,1% i  $h_{SJ}$  o 6,8%. W doniesieniu Pilianidisa i wsp. [258] treningi siły z obciążeniem 90% 1 CM i 60% 1 CM spowodowały podobny przyrost wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ, DJ i SJ. W odróżnieniu od prac Smiliosa i wsp. [289] oraz Wilsona i wsp. [330], w naszych badaniach trening grupy M10 na cykloergometrze z obciążeniem wynoszącym  $\approx 90\%$  obciążenia optymalnego (obciążenie, przy którym rozwijano największą moc podczas wyznaczania charakterystyk  $F-v$ ) spowodował podobny przyrost mocy i spadek wysokości uniesienia środka masy ciała w wyskoku CMJ w porównaniu z treningiem grupy M5 (45% obciążenia optymalnego), w której wystąpiła nieistotna poprawa skoczności. Rodzaj obciążenia 10% BW i 5% BW powodował, że największe przyrosty mocy obserwowano w grupie M10 po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów, a w grupie M5 bezpośrednio po 4 tygodniach treningu. Również mimo stwierzonego w tych badaniach wzrostu momentów sił mięśniowych PB we wszystkich grupach (M10 = +5,8%, M5 = +7,3%, W80 = +6,6%, W45 = +5,3%) nie zanotowano poprawy skoczności mierzonej wysokością uniesienia środka masy ciała. Nie potwierdza to wyników Matavulji i wsp. [227], którzy uznali, że otrzymana w ich doniesieniu poprawa skoczności była częściowo spowodowana wzrostem siły mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym.

W tabeli 20 przedstawiono uzyskane przez różnych autorów wartości współczynników korelacji liniowej między mocą kończyn dolnych i wysokością uniesienia środka masy w wyskokach CMJ i SJ a mocą kończyn dolnych mierzoną na cykloergometrze w teście Wingate ( $P_{maxW}$ ) i obliczanej z charakterystyk  $P-v$  ( $P_{max}$ ). Na podstawie opisanych istotnych zależności między wielkościami osiąganymi w wyskokach CMJ i SJ a mocą kończyn dolnych mierzoną w testach na cykloergometrze w pracach Buśko i wsp. [76], Daviesa i wsp. [97], Daviesa i Younga [98], Eliasza i wsp. [109], Hautiera i wsp. [158] oraz Vandewalle'a i wsp. [321] sądzono, że jeżeli trening na cykloergometrze spowoduje wzrost mocy rozwijanej na cykloergometrze, to powinien nastąpić także wzrost mocy i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskoku pionowym na platformie. Teza ta nie znalazła w pełni potwierdzenia w uzyskanych wynikach. Rezultaty tych badań pokazały, że w wyskoku CMJ istotnemu wzrostowi mocy maksymalnej i mocy średniej towarzyszyło obniżenie wysokości uniesienia środka masy ciała, nieistotne w grupie M10 (-3,4%) i istotne (-4,7%) w grupach realizujących trening wysiłkami



o stałej mocy 250 W (W45 i W80) po 4 tygodniach treningów. W grupie M5 wykonującej trening wysiłkami maksymalnymi z obciążeniem 5% BW nie stwierdzono istotnych zmian  $h_{CMJ}$  (2,1%). W wyskoku SJ zanotowano nieistotny wzrost mocy maksymalnej i mocy średniej w grupach M10 i M5. Wysokość uniesienia środka masy ciała w wyskoku SJ uległa nieistotnemu obniżeniu w grupach M10 o -2,5% i M5 o -2,4%.

**Tabela 20.** Współczynniki korelacji liniowej między mocą kończyn dolnych i wysokością uniesienia środka masy w wyskokach CMJ i SJ a mocą kończyn dolnych mierzoną na cykloergometrze w teście Wingate ( $P_{maxW}$ ) i obliczanej z charakterystyk  $P-v$  ( $P_{max}$ )

Zależności	Współczynniki	Grupa	Autorzy
$P_{max}$ vs. $P_{maxCMJ}$	0,47*	30 NT	Buško i wsp. [76]
$P_{max}$ vs. $h_{CMJ}$	0,74*	5 NT	Davies i wsp. [97]
$P_{max}$ vs. $h_{CMJ}$	0,92*	14 NT	Davies i Young [98]
$P_{maxW}$ vs. $h_{CMJ}$	0,52*	28 NT	Eliasz i wsp. [109]
$P_{max}$ vs. $h_{CMJ}$	0,84*	123 zawodnicy różnych dyscyplin	Vandewalle i wsp. [321]
$P_{maxW}$ vs. $P_{maxCMJ}$	0,54*	28 NT	Eliasz i wsp. [109]
$P_{max}$ vs. $h_{SJ}$	0,87*	10 NT	Hautier i wsp. [158]
$P_{max}$ vs. $P_{maxSJ}$	0,47*	30 NT	Buško i wsp. [76]

\* –  $p < 0,05$ ; NT – nietreningujący w wieku 20-30 lat

Stwierdzonym zmianom mocy (wzrost) i skoczności (obniżenie) mierzonej w wyskokach CMJ i SJ towarzyszył wzrost mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności  $P-v$  wyznaczonych na cykloergometrze o 6,9% w grupie M10 i 5,9% w M5, W80 i W45. Dodatkowo w naszych badaniach moc maksymalna obliczona z charakterystyk  $P-v$  ( $P_{max}$ ) korelowała istotnie z mocami rozwijanymi w wyskoku CMJ we wszystkich grupach z wyjątkiem W80 (Tabela 18). Natomiast nie znaleziono związku między  $P_{max}$  a wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ we wszystkich grupach z wyjątkiem grupy M10 w wyskoku SJ. Moc maksymalna względna obliczona z charakterystyk  $P-v$  korelowała istotnie z wysokością wyskoku SJ i CMJ w grupie M10 i CMJ w W45. W grupach M5 i W80 związek ten był nieistotny (Tabela 18). Również tej tezy nie potwierdzają wartości współczynników korelacji liniowej między mocami rozwijanymi w 30 sekundowym wysiłku maksymalnym a wielkościami uzyskanymi w wyskokach CMJ i SJ (Tabela 12). Dodatkowo należy wziąć pod uwagę fakt, że rezultaty jednorazowych pomiarów użytych do wykonania analizy korelacji mogą prowadzić do błędnych wniosków, ponieważ wystąpienie korelacji nie jest jeszcze dowodem związku przyczynowo-skutkowego [234].

Wyskoki CMJ i SJ różnią się sposobem wykonania. Ponieważ wyskok SJ rozpoczynamy z pozycji statycznej, z półprzysiadu bez fazy zamachu to w wy-

skoku SJ brak jest cyklu rozciągnięcie-skurcz (CR-S). Badania na mięśniu izolowanym wykazały, że wymuszone rozciąganie mięśnia z dużą prędkością bezpośrednio przed skurczem, zwiększa o 30-80% pracę mechaniczną (w zależności od szybkości skracania mięśnia) w stosunku do pracy wykonanej bez rozciągnięcia mięśnia [37, 84]. W ruchu całego ciała opisane zależności nie są tak jednoznaczne. Wielu autorów badało to zjawisko na przykładzie biegu [232, 269], chodu [9, 166, 269] oraz wyskoku pionowego [48, 49, 50, 55, 172, 197, 202], przysiadów [306] czy odbić na urządzeniu treningowym [12, 13]. Efekt ten tłumaczy się zmianami energii i jej wykorzystaniem podczas przejść od pracy ekscentrycznej do pracy koncentrycznej mięśni [197], skróceniem czasu elektromechanicznego opóźnienia [85] oraz wzrostem aktywności pochodzącej z odruchów. Saibene i wsp. [268] uważają, że część energii może również pochodzić z mechanicznej energii poprzednio zgromadzonej przez elastyczne komponenty (SEC i PEC) podczas czynnego naprężania elementów kurczliwych włókien mięśni (CC) pod wpływem sił zewnętrznych. Część tej energii może być gromadzona podczas naprężenia w elastycznych komponentach mięśni i odzyskana w następnym cyklu. Thys i wsp. [306], badając rytmiczne przysiady, wykonywane z krótką przerwą między ruchem w dół a w górę oraz bez przerwy, potwierdzili, że istotny przyrost sprawności mechanicznej oraz prędkości ruchu następował wówczas, gdy zmiana kierunku ruchu odbywała się możliwie jak najszybciej. Zdaniem Bobberta i wsp. [36] przewaga wyskoku CMJ nad SJ wynika z różnej czynności mięśni. W wyskoku CMJ mięśnie prostujące kończynę w stawie biodrowym i kolanowym rozwijają siłę w cyklu rozciągnięcie-skurcz, a w wyskoku SJ skurcz następuje bez wstępnego rozciągnięcia (pozycja półprzysiadu, izometryczna praca mięśni). W konsekwencji prowadzi to do rozwijania mniejszej siły i wykonania mniejszej pracy w fazie odbicia. Obserwowane większe procentowe przyrosty mocy maksymalnej rozwijanej w wyskokach CMJ w porównaniu z SJ mogą pośrednio świadczyć o tym, że trening na cykloergometrze (pedałowanie zawiera CR-S) może poprawiać moc rozwijaną w wyskoku CMJ poprzez lepsze wykorzystanie cyklu CR-S. Mimo, że w przypadku CR-S rozciągnięcie w pełnym zakresie ruchu ( $90-110^\circ$ ) daje tylko 10% zysk a w małym (ok.  $50^\circ$ ) do 40% poprawy przy tej samej prędkości [41]. Wydaje się, że wyższa częstość pedałowania może powodować lepsze wykorzystanie CR-S, ponieważ stopień wykorzystania CR-S zależy od szybkości przejścia z fazy rozciągnięcia do fazy skurczu w jak najkrótszym czasie. Tylko zakładając, że na podobny potreningowy przyrost mocy w obu wyskokach ma wpływ wykonywany skurcz izometryczny w wyskoku SJ rezultat może być taki sam. Zdaniem Bobberta i Harlaara [35], Jensena i wsp. [183], Krammera i wsp. [198] wykonanie skurczu izometrycznego przed wykonaniem ruchu prowadzi do nagromadzenia energii w pasywnych częściach mięśnia i jej odzyskanie w ruchu izotonicznym lub/i izokinetycznym, a to poprawia potencjał mięśni. W pracy Mastalerza i Urba-

nika [226] zanotowano pozytywny wpływ napięcia izometrycznego przed skurczem na skurcz izokinetyczny mięśni.

W wielu pracach poszukiwano wpływu różnych czynników na wartości mocy osiąganey w wysoku pionowym, między innymi takich jak, rodzaj wysoku [54, 178] i związana z nim wielkość tzw. zamachu przed odbiciem [22, 136, 193, 322], czy wybranych parametrów antropometrycznych [104, 137]. Bartosiewicz i wsp. [22] wykazali, że wysokość osiągnana w wysoku z zamachem z miejsca (CMJ) nie zależy od obszerności zamachu (w pewnym zakresie  $k$ ), a wartości mocy maksymalnej mechanicznej maleją wraz ze zwiększaniem obszerności zamachu. Harley i Doust [152] stwierdzili, że maksymalny kąt ugięcia kończyn dolnych w stawach kolanowych ma wpływ na wartość uzyskiwanej mocy. Wykazując istotny wpływ wykonania fazy tzw. zamachu przed odbiciem na wartości mocy i wysokości wysoku, podkreślono, że zbyt głęboki zamach wyraźnie obniża moc [22], ale nie musi negatywnie wpływać na wysokość wysoku [193]. W pracy Gajewskiego i Wita [137] moc maksymalna istotnie korelowała z wysokością wysoku ( $r = 0,45$ ) i obszernością zamachu ( $r = -0,62$ ) w grupie męskiej i odpowiednio  $r = 0,51$  i  $r = -0,63$  w grupie kobiet. Również w doniesieniach Bartosiewicza i wsp. [21], Buśko [54, 56], Dowlinga i Vamosa [104], Eliasza i wsp. [109], Króla i Bacika [201] oraz Urbanika i wsp. [316] stwierdzono istotną zależność między wysokością uniesienia środka masy a mocą maksymalną i mocą średnią rozwijaną w wysoku CMJ. Natomiast w badaniach prowadzonych na zawodnikach wielu dyscyplin sportowych nie stwierdzono korelacji między wysokością wysoku a mocą rozwijaną niezależnie od uprawianej dyscypliny (z wyjątkiem siatkarzy i siatkarek), płci, wieku i stanu fizycznego zawodnika [20]. W tej pracy obserwowano istotną zależność między mocą maksymalną a wysokością uniesienia środka masy ciała mierzoną w wysoku CMJ (grupy M10 i W45) i SJ (M10) (Tabela 9) oraz brak takiego związku w grupach M5 i W80. Istotny związek obserwowano we wszystkich grupach między wartościami mocy względnych a wysokością uniesienia środka masy ciała. Dodatnia korelacja między mocami i wysokością uniesienia środka masy ciała wystąpiła w przypadku zanotowanego wzrostu mocy, której towarzyszył spadek wysokości wysoku pod wpływem treningu. Wydaje się, że te wyniki potwierdzają tezę Bartosiewicza i Wita [20], którzy stwierdzili, że brak jest fizycznych i statystycznych podstaw do twierdzenia, że skok dosiężny może być obiektywnym testem mocy a co zatem idzie, że moc kończyn dolnych można oceniać pośrednio na podstawie wysokości wysoku. Tezę tę potwierdzają również wyniki badań Harmana i wsp. [153], Hertogha i Hue [161] oraz Sayersa i wsp. [278], którzy porównywali wielkości rozwijane w wyskokach wykonywanych na platformie dynamometrycznej z parametrami mierzonymi w wysoku dosiężnym.

### 3.5.3. Charakterystyki siła-prędkość i moc-prędkość kończyn dolnych

Zależność między rozwijaną siłą i prędkością skracania się elementów kurczliwych jest fundamentalną właściwością mięśni [163, 164]. W badaniach *in vitro*, maksymalną moc rozwijano przy optymalnej prędkości i sile, a zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) opisano hiperbolą [51]. W badaniach *in vivo*, prowadzonych podczas ćwiczeń angażujących zespoły mięśniowe w jednym stawie [5, 120, 186, 192, 255, 261, 307] lub grupie stawów np. w przysiadach ze sztangą [262], w wyskokach pionowych SJ i CMJ [145, 297] oraz w wysiłkach wykonywanych na cykloergometrach ciernych [69, 70, 71, 74, 79, 97, 105, 174, 180, 225, 321, 341] lub izokinetycznych [18, 228, 274], stwierdzono przebieg zależności  $F-v$  zgodny z równaniem Hilla (hiperboliczny) lub prostoliniowy. W pracy Zalewskiego i wsp. [341] zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) uzyskaną na cykloergometrze opisano w postaci hiperboli i prostej dla wysiłków wykonywanych kończynami górnymi i dolnymi. Otrzymała w tej pracy zależność siła-prędkość uzyskaną na cykloergometrze kończynami dolnymi w badanych grupach opisano linią prostą. Jest to zgodne z pracami innych autorów [70, 71, 74, 97, 145, 180, 228, 274]. W pracy Vandewalle i wsp. [321] wyznaczono charakterystyki siła-prędkość na cykloergometrze u zawodników i zawodniczek różnych dyscyplin sportowych. Stwierdzono liniową zależność między siłą i prędkością w przedziale prędkości 100-200 obrotów/min. Sprinterzy mieli większe wartości  $v_0$  i  $P_{max}$  niż zawodnicy uprawiający dyscypliny wytrzymałościowe. W pracach Hamara i wsp. [148] oraz Hamara [149] obserwowano różnice między przebiegami krzywej  $F-v$  u zawodników różnych dyscyplin sportowych. W badaniach Buśko i Wit [70] zawodników karate cechowała większa moc rozwijana przy mniejszych obciążeniach i większych prędkościach w porównaniu z wioślarzami, którzy rozwijali większą moc przy dużych obciążeniach i mniejszych prędkościach. Stwierdzono istotne różnice między grupami dla współczynników kierunkowych prostych zależności siła-prędkość, co mogło wynikać z odmienności dyscyplin i stosowanych metod treningowych. Obserwowane w przedstawianej pracy istotne zmiany współczynników kierunkowych prostych regresji zależności siła-prędkość we wszystkich grupach wskazują, że trening na cykloergometrze wpływa na przebieg zależności  $F-v$ . Na zmianę wartości współczynników kierunkowych charakterystyk  $F-v$  istotny wpływ wywiera intensywność treningów (trening realizowany wysiłkami maksymalnymi lub/i submaksymalnymi). Świadczą o tym istotne zmiany współczynników kierunkowych prostych zależności siła-prędkość po czterotygodniowym treningu oraz istotne różnice występujące po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów między grupami M5 i M10 a W45 i W80. Porównując otrzymane wyniki w obrębie tych samych rodzajów wysiłku (M5 vs. M10 oraz W45 vs. W80) możemy stwierdzić, że częstość pedałowania (duża lub mała) nie wywiera istotnego wpływu na wartości

współczynników kierunkowych prostych zależności siła-prędkość. Potreningowe zmiany wartości współczynników kierunkowych prostej zależności  $F-v$  sugerują, że w grupach M10, W45 i W80 wzrost mocy nastąpił przez zwiększenie siły a w grupie M5 przez wzrost prędkości.

W piśmiennictwie, wpływ różnych rodzajów wysiłków wykonywanych z dużą i małą prędkością na charakterystyki  $F-v$  i  $P-v$  badano realizując treningi siły [26, 185, 237], treningi na urządzeniach izokinetycznych [92, 116, 216, 217, 284] oraz na cykloergometrach nieizokinetycznych [206, 208, 209]. Trening siły składający się z ćwiczeń wykonywanych z dużym obciążeniem i małą prędkością poprawiał końcowy przebieg krzywej  $F-v$  (duża siła, mała prędkość) a mniej przebieg części krzywej dla dużych prędkości [26, 146, 185, 237]. Trening z dużą prędkością i małym obciążeniem: poprawiał wyniki w całym zakresie krzywej  $F-v$  [146, 237] lub zwiększał siłę i moc w zakresie ruchów wykonywanych z dużą prędkością [26, 185, 237]. Na podstawie wyników badań opisanych w pracach Kaneki i wsp. [188], Moritaniego i wsp. [235], Mossa i wsp. [237] oraz Wilsona i wsp. [330] można stwierdzić, że trening siły prowadzony z obciążeniem równym około 30-40% obciążenia maksymalnego rozwija moc, a realizowany na poziomie 80-100% siłę. Wyniki otrzymane po treningu siły można porównać do rezultatów badań na urządzeniach izokinetycznych, gdzie badani trenowali z dużą i małą prędkością. W pracach Coyle'a i wsp. [92] oraz Ewinga i wsp. [116] treningi na urządzeniach izokinetycznych wykonywane z dużą prędkością poprawiały bardziej moc i maksymalny moment siły przy dużych prędkościach a wykonywane z małą prędkością zwiększały wartości mierzonych wielkości tylko w zakresie małych prędkości. Natomiast w pracach Manniona i wsp. [216, 217] treningi wykonywane z dużą lub z małą prędkością nie powodowały istotnych różnic między grupami we wszystkich mierzonych wielkościach. W naszych badaniach zaobserwowano, że po czterech tygodniach treningów na cykloergometrze realizowanych maksymalnymi wysiłkami w grupie M5, nastąpiło równoległe przesunięcie w górę charakterystyk  $F-v$  i  $P-v$  w całym badanym zakresie obciążeń (od 2,5 do 12,5% BW). Największe istotne zmiany  $P_i$  zanotowano w pierwszym tygodniu od zakończenia treningów dla obciążenia od 2,5 do 10% BW. Badani grupy M5 najbardziej poprawili moc w przedziale dużych prędkości i małych sił. Po dwóch tygodniach od zaprzestania treningów przebieg charakterystyk był równoległy do położenia charakterystyk sprzed rozpoczęcia treningów, co świadczy o zmniejszeniu częstości pedałowania w zakresie wszystkich obciążeń (dla 2,5% BW zmniejszenie istotne,  $p < 0,05$ ). Otrzymane wyniki są w zgodzie z tezą Häkkinena [146], że trening wysiłkami wykonywanymi z dużą prędkością i małą siłą poprawia moc w całym zakresie charakterystyk  $F-v$  i  $P-v$ . W grupie M10 bezpośrednio po 4 tygodniach treningu stwierdzono obrót krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  względem punktu 7,5% BW. Największe istotne zmiany mocy obserwowano w pierwszym tygodniu od zakończenia treningów przy obciążeniu od 5 do 12,5% BW, a dla rezultatów uzyskanych

przy obciążeniach od 2,5% do 10% BW otrzymano równoległe przesunięcie krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  względem rezultatów sprzed rozpoczęcia badań. Po dwóch tygodniach od zaprzestania treningów obserwowano istotne zmniejszenie wartości rozwijanych mocy (w stosunku do pomiaru po 1 tygodniu od zakończenia badań) w przedziale zastosowanego obciążenia od 2,5 do 10% BW, a przebieg krzywych zależności  $F-v$  i  $P-v$  pokrywał się z rezultatami uzyskanymi po czterech tygodniach treningów. Analizując charakterystyki  $F-v$  i  $P-v$  otrzymane w naszych badaniach po treningach o tej samej intensywności, a różniących się tylko częstotliwością pedałowania (duża i mała prędkość) zaobserwowano, że treningi na cykloergometrze realizowane 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W z częstotliwością pedałowania zarówno 45 obrotów/min (grupa W45), jak i 80 obrotów/min (grupa W80) wpłynęły na zwiększenie mocy. W grupie W45 przy obciążeniu 7,5, 10 i 12,5% ciężaru ciała (BW) moc wzrosła istotnie o 3,7, 6,3 i 12,0% odpowiednio. Po zaprzestaniu treningów nastąpiło równoległe przesunięcie prostej  $F-v$  w dół, co świadczy o obniżeniu częstotliwości pedałowania we wszystkich obciążeniach testowych, przy czym tylko dla 5% BW spadek mocy był znamieny. Pod wpływem treningu z częstotliwością pedałowania 80 obrotów/min nastąpił istotny wzrost mocy rozwijanej przez badanych przy obciążeniu 10 i 12,5% BW, odpowiednio o 6,5% i 15,5%. Po zaprzestaniu treningów większe obniżenie mocy w grupie W80 stwierdzono dla większych częstotliwości pedałowania. Wzrost mocy w obu grupach po czterech tygodniach treningu tylko w przedziale małych prędkości (obciążenie 10 i 12,5% BW) oraz istotny spadek mocy w obu grupach w zakresie dużych prędkości (obciążenie 2,5 i 5% BW) stoi w pewnej sprzeczności z tezą Häkkinena [146], że trening wysiłkami wykonywanymi z dużą prędkością i małą siłą (w tym przypadku grupa W80) poprawia moc w całym zakresie charakterystyk  $F-v$  i  $P-v$ . Chyba, że ta teza odnosi się do wysiłków maksymalnych i nie można jej stosować do trzyminutowych wysiłków o stałej mocy 250 W. Wyniki tej pracy również nie są w zgodzie z rezultatami doniesień Bella i wsp. [26], Kanehisa i Miyashita [185] oraz Mossa i wsp. [237], którzy stwierdzili, że trening z małą prędkością poprawia moc w ruchach wykonywanych z małą prędkością a trening z dużą prędkością zwiększa moc w zakresie dużych prędkości. Podczas wszystkich pomiarów nie stwierdzono istotnych różnic między badanymi z obu grup w wartościach rozwijanych mocy. Świadczy to o tym, że potreningowe zmiany mocy uzyskane przez badanych z obu grup nie zależały od częstotliwości pedałowania podczas treningów. Jest to zgodne z wynikami prac Manniona i wsp. [216, 217], w których trening izokinetyczny wykonywany z dużą lub z małą prędkością nie spowodował istotnych różnic między grupami w mierzonych wielkościach.

Zasadniczo należy stwierdzić, że uzyskane w naszej pracy wyniki dla grup M10 i M5 są w zgodzie z pracami, w których trening siły wykonywany z dużym oporem poprawiał koniec krzywej  $F-v$  przy dużej sile (obciążeniu) i małej prędkości, a trening z małym oporem i dużą prędkością poprawiał część krzywej  $F-v$  dla

małych sił i dużych prędkości. Za zaskakujące należy uznać wyniki uzyskane w grupach W80 i W45, w których trening realizowany wysiłkami o stałej mocy 250 W, co stanowiło 24,5%  $P_{\max}$  obliczonej z zależności  $P-v$ , niezależnie od częstości pedałowania 80 i 45 obrotów/min poprawiał część krzywej  $F-v$  dla dużej siły (obciążenia) i małej prędkości.

Wielu autorów wykorzystało zależność  $F-v$  i  $P-v$  do obliczania indywidualnej mocy maksymalnej i prędkości optymalnej, przy której rozwijano  $P_{\max}$  [18, 69, 74, 71, 165, 207, 321]. W pracy Barona i wsp. [18] badani rozwijali  $P_{\max}$  ( $14,4 \pm 1,9$  W/kg) przy prędkości optymalnej  $127 \pm 14$  obrotów/min. W pracy Hintzy'ego i wsp. [165] średnie wartości  $v_o$  wynosiły  $123,1 \pm 11,2$  obrotów/min a  $P_{\max}/BM$   $11,1 \pm 1,6$  W/kg. Arsac i wsp. [8] uzyskali  $v_o = 125 \pm 9$  obrotów/min i  $P_{\max}/BM = 11,5 \pm 1,7$  W/kg. Hautier i wsp. [158] otrzymali  $v_o = 120 \pm 8$  obrotów/min,  $P_{\max} = 921 \pm 200$  W i  $P_{\max}/BM = 14,36 \pm 2,37$  W/kg. Badani w pracy Dorela i wsp. [102] rozwijali moc maksymalną  $948 \pm 133$  W przy prędkości optymalnej  $118 \pm 5$  obrotów/min. W doniesieniu Buško [69] moc maksymalna ( $P_{\max}$ ) wyliczona z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  wyniosła  $13,10 \pm 1,90$  W/kg) i wystąpiła przy optymalnej częstości pedałowania ( $v_o$ )  $109,2 \pm 12,0$  obrotów/min. W pracy Buško i Wit [71] siatkarze, karatecy i wioślarze rozwijali kolejno  $P_{\max}$   $1193,2 \pm 134,1$  W ( $13,44 \pm 1,28$  W/kg),  $955,6 \pm 119,8$  W ( $11,67 \pm 0,87$  W/kg) i  $984,2 \pm 109,9$  W ( $12,23 \pm 1,01$  W/kg) przy prędkości optymalnej  $119,9 \pm 6,2$  obrotów/min,  $117,0 \pm 23,7$  obrotów/min i  $110,0 \pm 15,1$  obrotów/min. Otrzymane w badaniach własnych wyniki oscylowały w przedziale 12,25 – 13,55 W/kg dla  $P_{\max}$  oraz 105,7 – 118,8 obrotów/min dla  $v_o$  i są zgodne z danymi literaturowymi dla cykloergometru izokinetycznego [228, 273, 274, 275] i niezokinetycznego [8, 71, 74, 165]. W badaniach Hautiera i wsp. [158] zanotowano wyższą moc niż w tych pomiarach. Było to jednak spowodowane tym, że przy obliczaniu mocy maksymalnej uwzględniano moment inercyjny koła zamachowego cykloergometru.

W pracach Linossiera i wsp. [206, 207, 208] opisano wzrost mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk moc-prędkość ( $P-v$ ) po 7-tygodniowym treningu z zastosowaniem krótkich wysiłków o wysokiej intensywności na cykloergometrze z obciążeniem 7,5% BW. W przedstawianej pracy w grupach wykonujących trening wysiłkami maksymalnymi największe istotne przyrosty mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności moc-prędkość otrzymano po 1 tygodniu od zaprzestania treningów (6,9% dla M10 i 5,9% dla M5). Przyrostowi mocy towarzyszył wzrost prędkości optymalnej o 6,2% w grupie M5 i spadek prędkości optymalnej o -2,3% w M10. Największy istotny spadek  $v_o$  w grupie M10 zanotowano po czterech tygodniach treningu (-8,4%). Zmianom prędkości towarzyszyła zmiana optymalnego obciążenia, przy którym rozwijano  $P_{\max}$  z 11,2 do 12,2% BW w grupie M10 i z 11,2 do 11,0% BW w M5. Świadczy to o tym, że wzrost mocy maksymalnej w grupie M10 nastąpił w wyniku zwiększenia siły, a w grupie M5 spowodowany był zwiększeniem prędkości. Wzrost mocy przez zwiększenie siły

w grupie M10 jest w zgodzie z tezą Linossiera i wsp. [208], że trening szybkościowy na cykloergometrze powoduje duży wzrost mocy maksymalnej, głównie spowodowany zwiększeniem siły. Natomiast umiejętność rozwoju prędkości wydaje się rzeczą trudną i może być związana z transformacją włókien ST i FTb do FTa. Wzrost mocy przez zwiększenie prędkości uzyskany w grupie M5 trenującej z obciążeniem 5% BW może dowodzić, że umiejętność rozwoju prędkości zależy od odpowiedniego doboru składowych obciążenia treningowego. Zakładając, że w tych badaniach trening realizowany wysiłkami maksymalnymi z obciążeniem 5% BW odpowiada w przybliżeniu 45% obciążenia maksymalnego (obciążenie, przy którym badany nie był w stanie wykonać próby podczas wyznaczania charakterystyk  $F-v$  przyjęto za obciążenie maksymalne) a z 10% BW 89% obciążenia maksymalnego, to otrzymane rezultaty dla zależności  $F-v$  i  $P-v$  są zgodne z wynikami prac Kaneki i wsp. [188], Moritaniego i wsp. [235], Mossa i wsp. [237] oraz Wilsona i wsp. [330]. W badaniach tych stwierdzono, że trening siły prowadzony z obciążeniem równym około 30-40% obciążenia maksymalnego rozwija moc, a na poziomie 80-100% siłę. Natomiast brak stwierdzonych istotnych różnic między grupami M5 i M10 jest zgodny z wynikami prac Manniona i wsp. [216, 217]. Brak istotnych różnic w rozwijanej mocy między grupami realizującymi trening siły z obciążeniem 15, 35 i 90% 1 CM opisano również w pracy Mossa i wsp. [237]. Otrzymane w naszych badaniach zmiany mocy maksymalnej (obliczonej z zależności  $P-v$ ) pod wpływem treningu na cykloergometrze realizowanego wysiłkami maksymalnymi są mniejsze od przyrostów mocy zanotowanych w pracy Linossiera i wsp. [206]. Takie wyniki uzyskano mimo, że średnia moc rozwijana na treningu wzrastała z tygodnia na tydzień, przekraczając moc z drugiego treningu o 14,1% w grupie M10 i o 16,8% w M5 a w pracy Linossiera i wsp. [206] o 17%. Możliwe, że mniejsze zmiany mocy w naszej pracy spowodowane były użyciem dłużej trwających wysiłków maksymalnych i treningiem wykonywanym codziennie. W grupie M10 czas wykonania pierwszego wysiłku w serii wynosił 27,2 s, a pozostałych czterech od 14,4 do 14,9 s i uległ skróceniu w 16 treningu do 25,1 s w pierwszym wysiłku w serii i 12,4-12,9 s w pozostałych czterech wysiłkach. W grupie M5 czas wykonania pierwszego wysiłku w serii wynosił 38,3 s, a pozostałych czterech od 19,9 do 22,2 s i uległ skróceniu w 16 treningu do 36,4 s w pierwszym wysiłku w serii i 17,5-18,4 s w pozostałych czterech wysiłkach. W pracy Linossiera i wsp. [206] stosowano pięciosekundowe wysiłki maksymalne a trening odbywał się, co drugi dzień. W pracach Bella i wsp. [26], Coyle'a i wsp. [92] oraz Ewinga i wsp. [116] badani w potreningowych testach kontrolnych najbardziej poprawiali rezultaty przy prędkościach, z jakimi trenowali. Uzyskane w naszej pracy wartości mocy rozwijane podczas wyznaczania zależności  $F-v$  z obciążeniem 5 i 10% BW pokazują, że w grupach M10 i M5 nie zachodzi zjawisko uczenia się przez badanych techniki jazdy na cykloergometrze z obciążeniem 5% i 10% BW (i/lub tzw. swoistości obciążenia), ponieważ nie stwierdzono naj-



większych zmian  $P_i$  przy obciążeniu, z którym wykonywano treningi. Podobne wnioski sformułowali Martin i wsp. [224] oraz Watt i wsp. [323], którzy stwierdzili, że moc maksymalna rozwijana w powtarzanych wysiłkach maksymalnych (2-4 wysiłki) wykonywanych w kolejnych dniach nie ulega istotnej zmianie (1,7-2,5%) u osób trenujących kolarstwo i nietrenujących wyczynowo. Również długość przerw odpoczynkowych (30 s, 1, 3, 5 i 10 minut) nie wpływa istotnie na rozwijanie mocy maksymalnej podczas wyznaczania zależności  $F-v$  na cykloergometrze [34]. Potreningowe zwiększenie mocy osiągnięto również wykonując treningi realizowane 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W z częstością pedałowania zarówno 45 obrotów/min (grupa W45), jak i 80 obrotów/min (grupa W80). Moc maksymalna obliczana z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  wzrosła istotnie po czterech tygodniach treningów w grupach W80 i W45 o 5,9% ( $p < 0,05$ ). Wzrostowi mocy maksymalnej towarzyszyło zmniejszenie prędkości optymalnej o -4,7% w grupie W80 i -1,1% w W45. Zmianom tym towarzyszyło zwiększenie wartości obciążenia optymalnego, przy którym rozwijano największą moc z 10,66 do 12,50% BW w grupie W80 i z 11,40 do 12,35% w W45. Otrzymane rezultaty mogą świadczyć o tym, że przyrost mocy w grupach poddanych treningowi trzyminutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W wykonywanymi w różnym rytmie spowodowany był zwiększeniem siły. Podczas wszystkich pomiarów nie stwierdzono istotnych różnic między badanymi z obu grup w wartościach rozwijanych mocy. Świadczy to o tym, że potreningowe zmiany mocy maksymalnej uzyskane przez badanych z obu grup nie zależały od częstości pedałowania podczas treningów. Jest to zgodne z wynikami prac Manniona i wsp. [216, 217].

W dostępnym piśmiennictwie nie znaleziono danych pomocnych w wyjaśnieniu przyczyn otrzymania podobnych rezultatów  $P_{max}$  przez badanych realizujących treningi wysiłkami maksymalnymi i z użyciem wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W. Jest to trudne do wyjaśnienia również z tego względu, że po treningach na cykloergometrze globalna siła mięśni kończyn dolnych, mierzona w warunkach statyki nie zwiększyła się w grupach W45 i W80 a wzrosła w M5 i M10. Natomiast siła mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym, która ma niewątpliwie wpływ na rezultat w wyskoku oraz w jeździe na rowerze zmniejszyła się w grupie W80, nie uległa istotnym zmianom w M10 i wzrosła w M5 i W45. Chyba, że decydujące znaczenie mają momenty sił mięśniowych PB, których podobny procentowy wzrost zanotowano we wszystkich grupach.

### ***3.5.4. Moc średnia i moc maksymalna rozwijana podczas 30-sekundowych wysiłków maksymalnych na cykloergometrze oraz stężenie kwasu mlekowego***

Wpływ treningów realizowanych wysiłkami o wysokiej intensywności na zmiany mocy mierzonej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym jest niejednoznaczny. W pracach Linossiera i wsp. [206, 209], Parry i wsp. [249], Sharpa i wsp. [281] oraz Simoneau i wsp. [286] trening „sprinterski” (szybkościowy) powodował wzrost mocy maksymalnej i średniej rozwijanych w teście Wingate oraz zwiększenie aktywności enzymów glikolitycznych (Tabela 3). W badaniach Jacobs i wsp. [177], MacDougalla i wsp. [212] oraz Rodasa i wsp. [266] wzrostowi aktywności enzymów glikolitycznych po treningu „sprinterskim” na cykloergometrze nie towarzyszył wzrost mocy maksymalnej rozwijanej w teście Wingate. Natomiast w pracy Simoneau i wsp. [285] wystąpił wzrost mocy w wysiłkach maksymalnych 10- i 90-sekundowych mimo braku wzrostu aktywności enzymów glikolitycznych. Stanowiło to kontrast z wynikami badań tych samych autorów [286], w których podobny trening spowodował wzrost aktywności enzymów glikolitycznych i wzrost mocy w wysiłkach maksymalnych 10- i 90-sekundowych wykonywanych na cykloergometrze. W pracach Jacobs i wsp. [177] oraz Rodasa i wsp. [266] nie stwierdzono istotnego wzrostu mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanych w teście Wingate po treningach na cykloergometrze złożonych z maksymalnych wysiłków 15- i 30-sekundowych. W pracy Parry i wsp. [249] badani wykonywali podobny trening na cykloergometrze złożony z maksymalnych wysiłków 15- i 30-sekundowymi w dwóch grupach. Moc maksymalna i moc średnia w 30-sekundowym teście Wingate wzrosły istotnie w grupie trenującej, co trzeci dzień o 20 i 14% odpowiednio, podczas gdy w grupie trenującej codziennie zmiany były nieistotne dla obu wielkości (3%). Wyniki różniły się istotnie między grupami. W pracach Allemeiera i wsp. [3], MacDougalla i wsp. [212] oraz McKenny i wsp. [230], w których treningi złożone były z 30-sekundowych wysiłków maksymalnych nie stwierdzono istotnych zmian w teście Wingate dla mocy maksymalnej ( $P_{\max 30}$ ) i mocy średniej ( $P_{m30}$ ). Natomiast w pracy O'Connor [244] obserwowano nieistotny wzrost mocy maksymalnej o 7,1% oraz istotne zwiększenie mocy średniej o 19,5%. Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [114] nie odnotowali istotnych potreningowych zmian mocy maksymalnej (1,4%) i mocy średniej (1,4%) mierzonej w teście Wingate w grupie mężczyzn po treningu wykonywanym 30-s wysiłkami maksymalnymi. W grupie kobiet moc maksymalna i moc średnia istotnie wzrosły odpowiednio o 6,0 i 10,6%. W pracy Gaigi i Docherty'ego [135] stwierdzono potreningowy wzrost mocy maksymalnej w teście Wingate, podczas gdy wykonana praca wzrosła nieistotnie. W doniesieniu Stathisa i wsp. [296] po 7-tygodniowym treningu realizowanym maksymalnymi 30-sekundowymi wysiłkami zanotowano

poprawę mocy maksymalnej o 16,8% i mocy średniej o 11,8% w teście Wingate. W prezentowanej pracy trening „sprinterski” wysiłkami maksymalnymi na cykloergometrze spowodował nieistotne zmiany mocy maksymalnej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym o 1,5% w grupie M10 i 3,9% w M5 oraz istotne w obu grupach zmiany mocy średniej kolejno o 6,6 i 11,0%. Trening na cykloergometrze złożony z trzyminutowych wysiłków o stałej mocy 250 W nie spowodował istotnych zmian mocy maksymalnej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym (1,2% w grupie W80 i 2,6% w W45). Moc średnia wzrosła natomiast istotnie w obu grupach: o 6,1% w W80 po drugim tygodniu od zakończenia treningów oraz o 7,2% w W45 po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów. Odmienne wyniki opisano w pracy O'Connor [244], w której trening realizowany dwuminutowymi wysiłkami o intensywności 120%  $\dot{V}O_{2max}$  spowodował istotny wzrost mocy maksymalnej i średniej rozwijanej w teście Wingate. Brak w naszych badaniach istotnych zmian mocy maksymalnej rozwijanej w teście Wingate jest w zgodzie z pracami Allemeiera i wsp. [3], Esbjörnsson i wsp. [113], Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [114], Jacobs i wsp. [177], McKenny'ego i wsp. [230], Rodasa i wsp. [266]. Jednak w odróżnieniu od prac, w których zmiany mocy maksymalnej i średniej były nieistotne [3, 114, 177, 230, 241, 266] w przedstawianym doniesieniu moc średnia uległa istotnemu zwiększeniu. Brak istotnych zmian mocy maksymalnej w grupach M10 i M5, podobnie jak w pracy Parry i wsp. [249], mógł wynikać z faktu, że trening odbywał się codziennie i/lub trwał cztery tygodnie. W pracach, w których obserwowano istotny przyrost mocy maksymalnej treningi trwały od 6 do 8 tygodni [206, 249, 281]. Norkowski [242] obserwował w 8-tygodniowym eksperymencie, w którym badani trenowali codziennie przez pięć dni w tygodniu wysiłkami  $\approx 6$ -cio sekundowymi, istotne zmiany mocy maksymalnej (ok. 11%) i średniej (ok. 12%) mierzonej w teście Wingate do 5 tygodnia trwania treningów. Ponadto, z wyników uzyskanych z zależności  $F-v$ , wynika, że 30-sekundowy wysiłek maksymalny (obciążenie 7,5% BW) nie był wykonywany z optymalnym obciążeniem, tj. obciążeniem, przy którym badani rozwijali największą moc. To było również przyczyną nieistotnych zmian  $P_{max30}$  w tej pracy oraz być może w pozostałych doniesieniach, w których nie stwierdzono istotnych zmian w teście Wingate. Wyniki naszej pracy sugerują, że test Wingate wykonywany z obciążeniem 7,5% BW nie jest skutecznym testem do pomiarów mocy maksymalnej. Trening realizowany wysiłkami maksymalnymi w grupie M10 z obciążeniem w przybliżeniu odpowiadającym optymalnemu (obciążenie, przy którym rozwijano największą moc podczas wyznaczania charakterystyk  $P-v$ ) nie okazał się skuteczny dla poprawy  $P_{max30}$  rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym. Stwierdzono natomiast, że dla rozwoju wydolności anaerobowej (mierzonej jako moc średnia) bardziej skuteczny okazał się trening grupy M5. W przypadku treningu złożonego z wysiłków o stałej mocy 250 W, być może różnice z danymi z piśmiennictwa zostały spowodowane innymi wysiłkami użyty-

mi w treningu (trzyminutowe wysiłki o stałej mocy 250 W, co odpowiada intensywności pojedynczego wysiłku na poziomie ok. 80%  $V_{O_2max}$  i 24,5%  $P_{max}$  obliczonej z zależności  $P-v$ ). Tego typu trening interwałowy powinien przede wszystkim oddziaływać na metabolizm glikolizy beztlenowej (komponenta mleczanowa) czyli zwiększać moc średnią a nie wpływać na rozwój mocy maksymalnej (komponenta bezmleczanowa). Pośrednio zostało to uwidocznione w potreninowych zmianach przebiegu mocy w pierwszych 10 sekundach i pozostałych 20 s trwania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego. Analizując zapis przebiegu mocy podzielony na pierwsze 10 sekund ( $P_{m10}$ ) i pozostałe 20 sekund ( $P_{m20}$ ) zaobserwowano, że oba zastosowane w tej pracy treningi poprawiały istotnie tylko  $P_{m20}$  o 7,0% w W80 i o 13,0% w W45. Różnice między grupami nie były istotne. Opisanie wyniki pokazują, że zastosowany trening powodował istotne zmiany w drugiej fazie 30-sekundowego wysiłku maksymalnego (komponenta mleczanowa). W przypadku treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi, oba zastosowane w tej pracy treningi poprawiały nieistotnie  $P_{m10}$  o 3,8% i  $P_{m20}$  o 4,4% w grupie M10 oraz istotnie  $P_{m10}$  o 14,3% i  $P_{m20}$  o 9,0% w M5. Zastosowany trening w grupie M5, przy podobnym potreninowym stężeniu LA jak w grupie M10, powodował większe zmiany w początkowej fazie 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w porównaniu z grupą M10. Różnice między grupami były istotne jedynie dla procentowych zmian  $P_{m10}$ . Może to świadczyć o tym, że trening w obszarze przemian beztlenowych kwasomlekowym realizowany wysiłkami w szybkim rytmie wpływa na efektywność przemian beztlenowych niekwasomlekowych. Dotychczasowe badania wskazywały na możliwość występowania takich zależności w treningu sprinterskim [133]. Otrzymane wyniki są w zgodzie z tezą Lorenza i wsp. [210] oraz Wołkowa [337], że trening interwałowy jest najlepszy do poprawy wydolności beztlenowej kwasomlekowej. Może to tłumaczyć uzyskanie w przedstawianej pracy zbliżonych, istotnych przyrostów zmian mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym, uznawanej za markera wydolności anaerobowej, we wszystkich grupach. Szczególnie zostało to uwidocznione we zmianach  $P_{m20}$  (wydolność anaerobowa kwasomlekowa). Stosunek wartości mocy  $P_{m10}$  do  $P_{m20}$  wyniósł w przedstawianej pracy w grupach M10 i M5 ok. 1,04-1,11 i nie zmieniał się pod wpływem treningu (Ryc. 27) natomiast w grupach W80 i W45 obniżał się istotnie. Wartości  $P_{m10}/P_{m20}$  były mniejsze od wyników podanych w pracy Bogdanisa i wsp. [43], w której stosunek wartości mocy  $P_{m10}$  do  $P_{m20}$  wyniósł 1,53 przy rozwijanych w teście Wingate mocach średnich wynoszących w pierwszych 10 sekundach ( $P_{m10} = 920$  W) i w ostatnich 20 s wysiłku ( $P_{m20} = 600$  W). Podczas analizy wyników badań własnych w zakresie procentowych zmian mocy w przedziałach 3-sekundowych (Ryc. 28) stwierdzono, że w grupie M10 istotna zmiana mocy wystąpiła w ostatnich 6 sekundach testu. W grupie M5 istotne zmiany obserwowano w całym 30-sekundowym przebiegu mocy. W grupie W80 istotna zmiana mocy wystąpiła od 15 do 30 sekundy trwania testu. W grupie W45 istotne

zmiany obserwowano od 12 do 30 sekundy, podczas gdy w pracy Linossiera i wsp. [206] potreningowe, istotne zmiany mocy w wysiłku 30-sekundowym analizowane w przedziałach 2 sekundowych stwierdzono w pierwszych 18 sekundach testu Wingate w porównaniu z przebiegiem przed rozpoczęciem treningów (trening maksymalnymi wysiłkami 5-sekundowymi). W pracy Stathisa i wsp. [296] moc obliczana w przedziałach 5-sekundowych zmieniała się istotnie w pierwszych 25 sekundach, przy czym największe zmiany obserwowano w pierwszych 10 sekundach testu (trening maksymalnymi wysiłkami 30-sekundowymi). W doniesieniu Esbjörnsson Liljedahl i wsp. [114] przebiegi mocy obliczanej w przedziałach 5-sekundowych były przesunięte względem siebie równolegle, przed i po treningu wysiłkami 30-sekundowymi, zarówno w grupie męskiej jak i żeńskiej.

W 30-sekundowym teście Wingate energia wykorzystywana jest ze źródeł beztlenowych i tlenowych [19, 27]. Zdaniem Bar-Ora [19] 13-28%, Beneke i wsp. [27] 20,0%, Calbeta i wsp. [82] 22,9%, Medbø i Tabata [233] do 40% całkowitej energii produkowanej podczas Wingate testu pochodzi ze źródeł tlenowych. W literaturze przyjęto, że o ile maksymalna moc oraz czas jej uzyskania i utrzymania określają możliwości beztlenowe-fosfagenowe, to wielkość wykonanej w ciągu 30 sekund pracy i/lub moc średnia są podstawowym wykładnikiem poziomu wydolności anaerobowej [19, 252, 259, 334], obejmującym również potencjał beztlenowo-mleczanowy (komponenta mleczanowa) [176, 336]. Jacobs i wsp. [176] stwierdzili, że najwyższa moc rozwijana w teście Wingate w ciągu pierwszych 5 sekund wytwarzana jest z wewnątrzmięśniowych zasobów fosfagenów (komponenta bezmleczanowa). Ze względu na ograniczone zasoby fosfagenu mięśniowego dalsze kontynuowanie wysiłku możliwe jest dzięki jego odbudowie w procesie beztlenowej glikolizy. Efektem udziału beztlenowej glikolizy w pokrywaniu zapotrzebowania energetycznego 30-sekundowego wysiłku jest wzrost stężenia kwasu mlekowego we krwi. Towarzyszą temu zmiany w równowadze kwasowo-zasadowej krwi: spadek pH oraz niedobór zasad. Uważa się, że trening powoduje wzrost transportu kwasu mlekowego z mięśni do krwi i przyspiesza jego eliminację z krwi przez wątrobę i mięśnie. Wpływ na ten proces ma rodzaj treningu (szybkościowy, wytrzymałościowy, siłowy) [211] i jego intensywność [215]. MacRae i wsp. [215] sugerowali, że po treningu o małej intensywności produkcja LA obniża się, a po treningu o wysokiej intensywności wzrasta wydzielanie kwasu mlekowego. W pracy Phillipsa i wsp. [256] 10 dniowy trening na cykloergometrze (wysiłek trwający 2 godz, 59%  $\dot{V}O_{2max}$ ) spowodował wzrost metabolizmu przy obniżonym poziomie LA. Niższy poziom wewnątrzmięśniowego LA sugeruje, zdaniem Phillipsa i wsp. [256], obniżenie wczesnej rekrutacji glikolizy w trakcie wykonywania ćwiczeń. Uważa się, że wzrost maksymalnego stężenia LA po treningu jest przejawem adaptacji do treningu o wysokiej intensywności [171, 271]. Proces zmian stężenia LA ma związek ze zwiększoną aktywnością fosfofruktokinazy (PFK), co jest przykładem uwydatnienia potencjału glikolitycznego [177,

281]. W badaniach Houstona i wsp. [171], Jacobs i wsp. [177], Sharpa i wsp. [281] oraz Rodasa i wsp. [266] otrzymano wzrost stężenia kwasu mlekowego występującego po teście Wingate wykonanym przed i po treningu. W pracy Jacobs i wsp. [177] po 6-tygodniowym treningu na cykloergometrze złożonym z 15- i 30-sekundowych wysiłków maksymalnych stężenie kwasu mlekowego mierzone w 4 minucie od wykonania testu uległo istotnemu zwiększeniu z  $11,4 \pm 1,0$  do  $12,5 \pm 1,3$  mmol/l (9,7%). W pracy Rodasa i wsp. [266] zastosowany 14-dniowy trening na cykloergometrze realizowany podobnymi wysiłkami maksymalnymi spowodował po teście Wingate istotnie większe stężenie LA o 37,2% w 5 minucie i 22,7% w 7 minucie w porównaniu z testem sprzed rozpoczęcia treningów. W pomiarach wykonanych przed rozpoczęciem treningów szczyt wyrzutu LA wystąpił w 7 minucie a po treningu w 5 minucie. Stężenie LA w 5 i 7 minucie wyniosło tyle samo. Natomiast stężenie wewnątrzmięśniowego LA uległo istotnemu obniżeniu. W pracy Sharpa i wsp. [281] 8-tygodniowy trening złożony z wysiłków 30-sekundowych spowodował istotnie większy wyrzut LA po teście 45-sekundowego „sprintu” w 3 minucie o 40%. Przed treningiem szczyt wyrzutu wystąpił w 15 minucie, po treningu w 3 i 15 minucie wyniósł tyle samo. Również wewnątrzmięśniowe LA uległo zwiększeniu po treningu w porównaniu do stanu sprzed treningiem. Zwiększeniu akumulacji mleczanu po treningu sprinterskim nie towarzyszyły istotne zmiany pH w mięśniach. W badaniach własnych we wszystkich grupach trening złożony z wysiłków maksymalnych i wysiłków o stałej mocy 250 W spowodował zmniejszenie powysiłkowego stężenia LA we krwi kapilarnej występującego po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym w 5, 7, 9 i 30 minucie kolejno o -3,0, -9,7, -13,0 i -31,0% w M10, -9,7, -12,8, -10,2 i -33,5% w M5, -11,3, -10,7, -17,4 i -25,1% w W80 oraz -7,2, -12,9, -12,3 i -11,1% w W45 po czterech tygodniach treningu. W M10 zmiany te uległy dalszemu pogłębieniu po dwóch tygodniach od zakończenia treningu o -12,2, -20,8, -25,1 i -51,4%. Otrzymane wyniki mogą sugerować, że trening w grupie M10 powoduje odległe skutki w czasie, jeśli chodzi o utylizację mleczanów i równowagę kwasowo-zasadową. Prawdopodobnie tym należy wytłumaczyć mniejszy przyrost mocy średniej w grupie M10 w porównaniu z M5. Uzyskane wyniki są zbliżone do rezultatów badań Parry i wsp. [249] pomimo, że w badaniach własnych różnice w rozwijanej pod wpływem treningów mocy prawdopodobnie wynikały z intensywności treningów (różnego rytmu pedałowania), a w pracy Parry i wsp. [249] z zastosowania treningów bez przerwy w pierwszej grupie i z dwudniową przerwą między dniami treningowymi w drugiej grupie. Otrzymane wartości stężenia mleczanów są tylko częściowo w zgodzie z dotychczasowymi poglądami głoszącymi, że trening realizowany wysiłkami maksymalnymi powoduje powysiłkowy wzrost stężenia LA po teście Wingate [171, 215, 266, 281] a złożony z wysiłków submaksymalnych powoduje zmniejszenie stężenia LA po teście Wingate [215, 256] i dwuminutowym wysiłku supramaksymalnym [83]. Obserwowane w naszych badaniach obniżenie stężenia LA w grupach

M10 i M5, jest w zgodzie z wynikami pracy Lutosławskiej i wsp. [211], w której opisano zmniejszenie wyrzutu LA po 30-s teście Wingate wykonanym po okresie startowym w porównaniu z okresem roztrenowania u zapaśników. Zmianom tym towarzyszył istotny wzrost mocy maksymalnej oraz nieistotny wzrost mocy średniej. Obniżenie stężenia LA we krwi kapilarnej w prezentowanych badaniach mogło wynikać z tego, że pod wpływem prowadzonego treningu mogło dojść do zmian polegających na obniżeniu rozpadu glikogenu i zmniejszenia akumulacji kwasu mlekowego w mięśniach podczas 30-sekundowego wysiłku maksymalnego wykonywanego w okresie potreningowym. Zmniejszenie stężenia mleczanów we krwi może również wynikać ze wzrostu utylizacji mleczanów we włóknach mięśniowych [266]. Obniżenie wytwarzania energii na drodze beztlenowej mogło korelować ze wzrostem wykorzystania energii powstającej na drodze aerobowej, która odgrywa ważną rolę w tego typu testach [142]. Pośrednim dowodem na to był zarejestrowany w badaniach własnych istotny wzrost we wszystkich grupach wydolności tlenowej mierzonej testem PWC<sub>170</sub> (wyniki zamieszczono w pracy Buśko [75]). Również należy wziąć pod uwagę to, że trening złożony z wysiłków maksymalnych może powodować wzrost zużycia kwasu mlekowego jako metabolicznego źródła dla uzyskania energii na drodze tlenowej. Użycie mleczanów jako źródła mięśniowej energii zostało opisane przez Phillipsa i wsp. [256], jako wynik zmian potreningowych. Kinetyka „wyrzucenia” mleczanów z mięśni do krwi nie jest w pełni poznana. Rodas i wsp. [266] sugerują, że mleczany są usuwane z mięśni do krwi przez transportery mleczanowe. Mechanizm ten może być następstwem treningu powodującego większy lub mniejszy wyrzut mleczanów do krwi, tym samym powodując spadek lub wzrost koncentracji LA w mięśniach [45]. Istniejące w piśmiennictwie rozbieżności dotyczące powysiłkowych stężeń LA mogą być również spowodowane różnicami w czasie pobrania próbek krwi po teście Wingate. W piśmiennictwie spotyka się prace, w których czas pobrania przypadają na: pierwszą [28], drugą [15], trzecią [47, 211, 342], czwartą [133, 177], piątą [266], siódmą [133], ósmą [133, 333], dziewiątą [115] i dziesiątą minutę [133, 195] po zakończeniu testu. W prezentowanej pracy pobrania wykonywano w spoczynku przed rozpoczęciem testu oraz w 5, 7, 9 i 30 minucie po jego zakończeniu, co umożliwiło zaobserwowanie zjawiska przesunięcia czasu wystąpienia szczytu wyrzutu LA w grupie M10 i W45. Podobny efekt wcześniejszego wystąpienia największego stężenia LA w porównaniu z pomiarami sprzed rozpoczęcia treningu zaobserwowano w pracach Rodasa i wsp. [266] oraz Sharpa i wsp. [281], którzy opisali skrócenie czasu wystąpienia największego wyrzutu LA po treningu złożonym z maksymalnych wysiłków (15- i 30-s) na cykloergometrze.

### 3.6. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w pracy wyniki badań dotyczą biomechanicznych efektów różnych programów treningu przerywanego (Tabela 21). Metoda powtórzeniowa (trening przerywany) stosowana jest już od dawna w treningu, mającym za cel podwyższenie siły i mocy oraz zwiększenie potencjału anaerobowego. Należy zaznaczyć, że trening mechanizmu laktycznego usprawnia i przyspiesza również włączanie i przebieg reakcji utleniania w tkance mięśniowej, doskonaląc proces

**Tabela 21.** Największe procentowe zmiany głównych wskaźników siły, mocy i skoczności pod wpływem treningu na cykloergometrze realizowanego wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi o mocy 250 W

	M10	M5	W80	W45
Momenty sił mięśniowych w statyce				
PB	7,1* (6)	7,3* (4)	6,6 (4)	5,3 (4)
ZB	12,5* (5)	12,0* (6)	-16,5* (5)	-10,2* (4)
PK	1,5 (6)	7,2* (4)	-5,9 (5)	9,6* (6)
ZK	-1,5 (5)	3,3 (4)	-5,5 (5)	-6,6 (4)
ZPS	9,6* (4)	2,9 (4)	4,4 (5)	11,8* (4)
Wyskok CMJ				
$P_{\max\text{CMJ}}$	8,9* (5)	8,9* (4)	7,2 (5)	14,8* (5)
$P_{\text{mCMJ}}$	8,0 (5)	9,6* (4)	12,2* (5)	9,8 (5)
$h_{\text{CMJ}}$	-3,4 (4)	2,1 (5)	-4,7* (4)	-4,7* (4)
Wyskok SJ				
$P_{\max\text{SJ}}$	4,0 (5)	4,9 (4)		
$P_{\text{mSJ}}$	8,9 (4)	3,6 (4)		
$h_{\text{SJ}}$	-2,5 (4)	-2,4 (5)		
Zależność P-v				
$P_{\max}$	6,9* (5)	5,9* (5)	5,9* (4)	5,9* (4)
$v_o$	-8,4* (4)	6,2 (5)	-4,7 (4)	-9,1* (6)
Test Wingate				
$P_{\max 30}$	1,5 (5)	3,9 (5)	1,2 (6)	2,6 (6)
$P_{\text{m}30}$	6,5* (5)	11,0* (5)	6,1* (6)	7,2* (5)

Objaśnienia: trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem: 10% BW – grupa M10 i 5% BW – grupa M5; trening realizowany 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedalowania: 80 obrotów/min – grupa W80 i 45 obrotów/min – grupa W45; momenty sił mięśniowych mięśni prostujących i zginających kończynę w stawie biodrowym i kolanowym oraz zginających podeszwowo stopę (PB, ZB, PK, ZK, ZPS, odpowiednio), moc maksymalna ( $P_{\max\text{CMJ}}$ ), moc średnia ( $P_{\text{mCMJ}}$ ), wysokość uniesienia środka masy ciała ( $h_{\text{CMJ}}$ ) w wyskoku CMJ, moc maksymalna ( $P_{\max\text{SJ}}$ ), moc średnia ( $P_{\text{mSJ}}$ ), wysokość uniesienia środka masy ciała ( $h_{\text{SJ}}$ ) w wyskoku SJ, moc maksymalna ( $P_{\max}$ ) i prędkość optymalna ( $v_o$ ) obliczona z zależności moc-prędkość, moc maksymalna ( $P_{\max 30}$ ) i moc średnia ( $P_{\text{m}30}$ ) rozwijana w 30-s wysiłku maksymalnym; \* – średnie [%] różnią się istotnie ( $p < 0,05$ ) względem pierwszego pomiaru (0), w nawiasie podano numer pomiaru, w którym osiągnięto największy rezultat.



utyliczacji tlenu. Skutkiem tego jest coraz lepsze i pełniejsze usuwanie z mięśni powstającego w dużych ilościach kwasu mlekowego oraz możliwość wykonywania cięższej pracy przy takim samym poziomie zakwaszenia organizmu. W pracy w treningu przerywanym zastosowano dwie główne formy wysiłków: pierwsza – trening realizowany wysiłkami maksymalnymi, druga – trening złożony z równoważnych wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na efekty treningowe w obu rodzajach treningów były: w pierwszym – częstość pedałowania i/lub intensywność wysiłków maksymalnych modyfikowana użytym obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 5 i 10% ciężaru ciała, w drugim – częstość pedałowania 45 i 80 obrotów/min.

Wyniki badań wykazały, że we wszystkich grupach zastosowane bodźce treningowe były skutecznym środkiem oddziaływania. Zmiana intensywności/rytmu pedałowania zwiększała lub obniżała efekty treningów tylko w nielicznych przypadkach. Brak istotnych różnic między grupami w przyrostach wartości momentów sił mięśniowych (wyjątek ZB) oraz mocy maksymalnych i średnich mierzonych podczas wyskoków na platformie dynamometrycznej i w testach na cykloergometrze po 4 tygodniowym treningu nie potwierdził prawdziwości hipotezy mówiącej o możliwości istotnego wpływu składowych mocy tj. siły i prędkości na wzrost momentów sił mięśniowych i mocy kończyn dolnych po systematycznie prowadzonym treningu.

Analiza uzyskanych wyników badań upoważnia do sformułowania następujących wniosków teoretycznych (1-3) i praktycznych (4):

1. Wyniki uzyskane w tej części pracy dowodzą, że program treningu realizowany wysiłkami maksymalnymi wykonywanymi w różnym rytmie poprawiał momenty sił mięśniowe mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym, prostujących w stawie kolanowym (tylko M5) i zginających podszwowo stopę. Trening zwiększał moc maksymalną i średnią rozwijaną w wyskokach CMJ i SJ, moc średnią rozwijaną w 30-s wysiłkach maksymalnych, moc maksymalną obliczaną z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  i zmieniał przebiegi krzywych zależności  $F-v$  przesuwając je w kierunku wyższych wartości. Wzrost wartości wymienionych parametrów, obserwowany po 4 tygodniach treningu z wykorzystaniem wysiłków maksymalnych mógł być wynikiem progresywnego zwiększania średniej mocy wysiłków na poszczególnych sesjach treningowych. Nie zależał on od intensywności (rytmu pedałowania) modyfikowanej zawieszonym obciążeniem zewnętrznym wynoszącym 5 lub 10% BW. Trening szybkościowy powinien prowadzić do podwyższenia mocy anaerobowej oraz do wzbogacenia potencjału beztlenowych źródeł energetycznych. Dotyczy to przede wszystkim zawartości ATP i fosfokreatyny, od których zależy pojemność źródła anaerobowego oraz jego maksymalna moc. Globalna ilość tych związków zwiększa się głównie w wyniku treningowego powiększania masy mięśni szkieletowych. Przerost mięśni

powoduje, że udział tkanki mięśniowej w budowie ciała wzrasta zwiększając ilość tkanki mięśniowej przypadającej na kg masy ciała. Przyczynia się to równocześnie do podwyższenia ilości fosfagenu w masie ciała. Powiększenie potencjału energetycznego umożliwia rozwinięcie większej mocy oraz wykonanie określonej pracy przez dłuższy czas. O podwyższeniu ilości fosfagenu w masie mięśni, zaobserwowanej w badaniach własnych, może pośrednio świadczyć wzrost LBM we wszystkich grupach pod wpływem treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi i z użyciem wysiłków submaksymalnych o mocy 250 W (wyniki opisano w pracy Buśko i Wit [72]) oraz wzrost mocy średniej mierzonej w testach na cykloergometrze. W pracy Norkowskiego [242] doskonalenie mechanizmu fosfagenowego (bezmleczanowego) uzyskano na drodze odpowiedniego doboru przerw odpoczynkowych w treningu realizowanym maksymalnymi wysiłkami z obciążeniem 7,5% BW. W badaniach własnych doskonalenie mechanizmu fosfagenowego (bezmleczanowego) uzyskano w wyniku zastosowania treningu z odpowiednio dobraną intensywnością wysiłków maksymalnych (obciążenie 5% BW). W treningu wysiłkami maksymalnymi zmiana rytmu pedałowania wpływała tylko na rozwijaną moc w pierwszych 10 s 30-sekundowego wysiłku maksymalnego oraz na potreningowy wzrost mocy maksymalnej obliczanej z zależności siła-prędkość. Korzystny wpływ osiągnięto w różny sposób przez zwiększenie prędkości w wyniku treningu z obciążeniem 5% BW i siły z użyciem wysiłków z obciążeniem 10% BW. Większy przyrost mocy w pierwszych 10 sekundach 30-sekundowego wysiłku maksymalnego w grupie wykonującej wysiłki maksymalne z obciążeniem 5% BW w porównaniu z grupą trenującą z obciążeniem 10% BW również świadczy o powiększeniu wydajności alaktycznego źródła fosfagenowego. Taki układ wyników może wskazywać zarówno na duże usprawnienie mechanicznych i fizjologicznych warunków pracy mięśniowej, jak i na większy udział w wysiłku szybkokurczliwych włókien mięśniowych.

Przeprowadzone badania empiryczne nie potwierdziły słuszności przyjętej tezy o istnieniu związku między składowymi mocy, tj. siły i prędkości, a efektem treningu realizowanego wysiłkami maksymalnymi mierzonym momentami sił mięśniowych w warunkach statyki i mocy kończyn dolnych rozwijanej w testach na cykloergometrze. Jedynie rezultaty procentowych zmian mocy średniej rozwijanej podczas pierwszych 10 sekund 30-sekundowego wysiłku maksymalnego i prędkości optymalnej mogą sugerować wpływ składowych mocy (siły i prędkości) na zwiększanie niektórych cech fizycznych.

2. Trening wysiłkami submaksymalnymi o stałej o mocy 250 W wykonywanymi w różnym rytmie poprawiał momenty sił mięśniowych (z wyjątkiem ZB i ZK w obu grupach i PK w grupie W80), moc maksymalną i średnią rozwijaną w wyskokach CMJ, moc średnią rozwijaną w 30-s wysiłkach maksymalnych,

moc maksymalną obliczaną z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  oraz zmienił przebiegi krzywych zależności  $F-v$  przesuwając je w kierunku wyższych wartości. W odróżnieniu od grup realizujących trening wysiłkami maksymalnymi, w których obserwowano zwiększanie średniej mocy wysiłków wykonywanych na poszczególnych sesjach treningowych, w grupach poddanych treningowi wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W średnia moc i wartość wykonanej pracy nie zmieniały się przez cały okres treningowy. Tak, więc inne mechanizmy nie związane ze wzrostem intensywności i/lub objętości musiały wpływać na zmiany wywołane treningiem. Można przypuszczać, że zgodnie z zasadą stopniowego zwiększania obciążenia pierwszy zastosowany bodziec treningowy, tj. wysiłek submaksymalny o mocy 250 W, okazał się optymalnym i przez okres 4 tygodni trwania treningu powodował przyrosty wielkości kontrolnych. Stwierdzono, że siła i prędkość, jako składowe intensywności treningu realizowanego równoważnymi wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W nie wpływają istotnie na charakter zmian adaptacyjnych organizmu mierzonych momentami sił mięśniowych w warunkach statyki i mocy kończyn dolnych rozwijanej podczas wyskoku na platformie dynamometrycznej oraz w testach na cykloergometrze. W treningu realizowanym równoważnymi wysiłkami o mocy 250 W zmiana rytmu pedałowania spowodowała różnice tylko w procentowych zmianach momentach sił mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym. Zwiększenie tych wartości w grupie trenującej z częstością pedałowania 45 obrotów/min w porównaniu z grupą W80 mogło wynikać z bardziej „siłowego” charakteru pedałowania oraz z faktu, że wg. MacIntosha i wsp. [213] naruszenie glikogenu jest większe dla typu włókien mięśniowych FT przy 50 obrotach/min niż 100 obrotach/min w wysiłkach o intensywności  $85\% V_{O_2max}$ .

3. Cytowane we wstępie piśmiennictwo dowiedzi, że o efektach potreningowych decyduje moc treningu (intensywność). Nie potwierdziły tego w pełni rezultaty badań własnych. Porównanie efektów treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi z treningami złożonymi z wysiłków submaksymalnych o mocy 250 W wykazało, że intensywność treningów przerywanych nie wpływa istotnie na maksymalne momenty sił mięśniowych z wyjątkiem momentów sił mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym, moc maksymalną i moc średnią rozwijaną w wyskokach CMJ, wydolność anaerobową, powysiłkowe stężenie kwasu mlekowego i potreningowy rozwój mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk  $P-v$ . Intensywność treningów przerywanych wpływała na: maksymalne momenty sił mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym, wartości współczynników kierunkowych prostej zależności siła-prędkość oraz moce rozwijane w 10-s wysiłkach z obciążeniem 2,5 i 5,0% BW. Jednym z możliwych wyjaśnień braku różnic między efektami treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi w porównaniu z trenin-

gami złożonymi z wysiłków submaksymalnych o mocy 250 W jest to, że przy wykorzystaniu różnych dróg metabolicznych treningów odpowiedź biomechaniczna jest podobna. Być może, również na brak różnic spowodowanych intensywnością treningów miały wpływ istotne różnice w wielkości wykonanej pracy na treningu (wysiłki maksymalne  $\approx 19,2$  kJ, wysiłki o stałej mocy 250 W 45kJ).

4. Rozpatrując zakres praktyczny uzyskanych w tej pracy wyników można sformułować tezę, że zastosowana metodyka rozwoju siły i mocy może być aplikowana do praktyki treningu. Zastosowany trening na cykloergometrze może być zastąpiony treningiem biegowym lub treningiem siły realizowanym ćwiczeniami wykonywanymi z różną prędkością. Właściwe zaplanowanie treningu może wywołać pożądane efekty treningowe mniejszym kosztem (np. trening wysiłkami maksymalnymi i/lub submaksymalnymi) czy też wysiłkami maksymalnymi, ale różniącymi się intensywnością (np. z obciążeniem 5 lub 10% BW). Rezultaty badań wykazały, że treningi realizowane wysiłkami maksymalnymi z intensywnością ok. 45%  $P_{max}$  wywołują podobne, co do kierunku i wartości, (w większości mierzonych wielkości) potreningowe zmiany jak treningi realizowane wysiłkami o intensywności ok. 90%  $P_{max}$ . Treningi złożone z wysiłków submaksymalnych o mocy 250 W dają z kolei podobne zmiany jak treningi wysiłkami maksymalnymi. Zmienność oddziaływania umożliwia zaplanowanie treningu z uwzględnieniem wpływu na różne drogi metaboliczne (beztlenowe, tlenowe) przy porównywalnych efektach treningowych. Wyniki tej pracy pokazują, że w celu doskonalenia mechanizmu fosfagenowego (bezmleczanowego) niekoniecznie trzeba sterować długością przerw odpoczynkowych, ale można zastosować trening z odpowiednio dobraną intensywnością wysiłków maksymalnych (obciążenie 5% BW).

Wyniki badań przedstawione w tej pracy nie potwierdzają poglądów dotyczących ograniczającej roli treningu na cykloergometrze w rozwoju siły mięśniowej z wyjątkiem mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym (trening realizowany wysiłkami o stałej mocy 250 W) i kolanowym (oba rodzaje treningów). W przypadku momentów sił mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym może to być spowodowane, m. in. siedzącą pozycją podczas pracy. W doniesieniach Trzaskomy [311] i Urbanika [317] u trenujących na trenażerze w pozycji siedzącej obserwowano spadek, a u trenujących w pozycji leżącej wzrost wartości momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym.

Do zwiększania mocy u siatkarzy i/lub skoczków nie można używać cykloergometru. Trening na cykloergometrze powoduje obniżenie skoczności, mierzonej wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ. Staje się tak mimo wzrostu mocy maksymalnej i średniej rozwijanej w tych wyskokach oraz zwiększenia mocy maksymalnej obliczanej z zależności  $P-v$

i mocy średniej generowanej w 30-sekundowym teście wykonywanym na cykloergometrze. Przyczyn tego zjawiska nie udało się wyjaśnić.

Rezultaty pomiarów uzyskanych podczas wyznaczania zależności  $F-v$  i wykonywania 30-sekundowego wysiłku maksymalnego pokazują, że powszechnie wykonywany z obciążeniem 7,5% BW 30-sekundowy wysiłek maksymalny (30-s test Wingate) nie jest skutecznym narzędziem do mierzenia mocy maksymalnej. Moc maksymalną należy obliczać z charakterystyk siła-prędkość lub mierzyć w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym (teście Wingate) wykonywanym z obciążeniem, przy którym badani rozwijają największą moc.

Uzyskane wyniki badań związków między składowymi mocy, tj. siłą i prędkością, a zakresem i kierunkiem zmian adaptacyjnych organizmu zachodzących pod wpływem treningu przerywanego (realizowanego wysiłkami maksymalnymi i/lub submaksymalnymi), stwarzają teoretyczne podstawy dla skutecznego sterowania efektami treningu. Umożliwiają realny wpływ na charakter i zakres zmian zachodzących w przebiegu tego procesu, co ma szczególne znaczenie dla praktyki treningu w wielu dyscyplinach sportu.

## 4. Piśmiennictwo

1. Abernethy P.J., Thayer R., Taylor A.W. (1990) Acute and chronic responses of skeletal muscle to endurance and sprint exercise. *Sports Med.* 10: 365-389.
2. Ahlquist L.E., Bassett DR Jr, Sufit R., Nagle F.J., Thomas D.P. (1992) The effect of pedalling frequency on glycogen depletion rates in type I and type II quadriceps muscle fibres during submaximal cycling exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65: 360-364.
3. Allemeier C.A., Fry A.C., Johnson P., Hikida R.S., Hagerman F.C., Staron R.S. (1994) Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 77(5): 2385-2390.
4. Andersen L.L., Tufekovic G., Zebis M.K., Crameri R.M., Verlaan G., Kjaer M., Suetta C., Magnusson P., Aagaard P. (2005a) The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism.* 54(2): 151-156.
5. Andersen L.L., Andersen J.L., Magnusson S.P., Suetta C., Madsen J.L., Christensen L.R., Aagaard P. (2005b) Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J. Appl. Physiol.* 0: 912005 (Epub, Feb 24, URL: <http://www.jap.physiology.org>).
6. Andersen L.L., Aagaard P. (2006) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96: 46-52.
7. Ansley L., Robson P.J., Gibson St.C., Noakes T.D. (2004) Anticipatory pacing strategies during supramaximal exercise lasting longer than 30 s. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(2): 309-314.
8. Arsac L.M., Belli A., Lacour J-R. (1996) Muscle function during brief maximal exercise: accurate measurements on a friction-loaded cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74: 100-106.
9. Asmussen E.F., Bonde-Petersen F. (1974) Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiol. Scand.* 92(4): 537-545.
10. Åstrand P.-O., Rodahl K. (1975) Textbook of work physiology. McGraw-Hill, New York.
11. Aura O., Komi P.V. (1986a) The mechanical efficiency of locomotion in men and women with special emphasis on stretch-shortening cycle exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 55: 37-43.
12. Auro O., Komi P.V. (1986b) Mechanical efficiency of pure positive and pure negative work with special reference to the work intensity. *Int. J. Sports Med.* 7(1): 44-49.
13. Auro O., Komi P.V. (1986c) Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behaviour of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *Int. J. Sports Med.* 7(3): 137-143.
14. Aura O., Komi P.V. (1987) Effects of muscle fiber distribution on the mechanical efficiency of human locomotion. *Int. J. Sports Med.* (Suppl. 1) 8: 30-37.
15. Ball D., Burrows C., Sargeant A.J. (1999) Human power output during repeated sprint cycle exercise: the influence of thermal stress. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79: 360-366.
16. Bangsbo J. (1996) Physiological factors associated with efficiency in high intensity exercise. *Sports Med.* 22(5): 299-305.
17. Barany M. (1967) ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening. *J. Gen. Physiol.* 50: 197-218.

18. Baron R., Bachl N., Petschnig R., Tschann H., Smekal G., Pokan R. (1999) Measurement of maximal power output in isokinetic and non-isokinetic cycling. A Comparison of two methods. *Int. J. Sports Med.* 20: 532-537.
19. Bar-Or O. (1987) The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity. *Sports Med.* 4, 381-394.
20. Bartosiewicz G., Wit A. (1985) Skoczność czy moc. *Sport Wyczynowy* 6: 7-14.
21. Bartosiewicz G., Składanowska K., Trzaskoma Z. (1986) Próba oceny możliwości siłowo-szybkościowych szermierzy. *Sport Wyczynowy* 5: 3-15.
22. Bartosiewicz G., Danielewicz E., Gajewski J., Trzaskoma Z., Wit A. (1990) Evaluation of strength-velocity characteristics in athletes. In: Berne N., Capozzo A. (Ed.) *Proceedings of the Study Institute and Conference on Biomechanics of Human Movement*. Formia, Italy. Worthington, Ohio: Bertec Corp., pp. 426-430.
23. Bartosiewicz G., Elias J., Viitasalo J., Wit A. (1992) Pomiar mocy kończyn dolnych i tułowia oraz wysokości uniesienia środka masy ciała podczas wyskoku pionowego. W: *Biomechaniczna ocena układu ruchu sportowca* (Wit A., red.). Instytut Sportu, Warszawa, 75-92.
24. Barzykowski J., Baszun P., Fidelus K., Jakubiak S., Senatorski M. (1989) Urządzenie do pomiaru momentów sił mięśni stawu kolanowego. *Post. Rehab.* 2: 55-63.
25. Beelen A., Sargeant A.J. (1993) Effect of prior exercise at different pedalling frequencies on maximal power in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 66(2): 102-107.
26. Bell G.J., Petersen S.R., Quinney H.A., Wenger H.A. (1989) The effect of velocity-specific strength training on peak torque and anaerobic rowing power. *J. Sports Sci.* 7(3): 205-214.
27. Beneke R., Pollmann C., Bleif I., Leithäuser R.M., Hütler M. (2002) How anaerobic is the Wingate Anaerobic Test for humans? *Eur. J. Appl. Physiol.* 87: 388-392.
28. Ben-Sira D., Sagiv M. (1997) The effect of gender on left ventricular function immediately after the Wingate test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75: 549-553.
29. Bentley D.J., Smith P.A., Davie A.J., Zhou S. (1998) Effects of cycle exercise on isometric force and EMG. In: K. Häkkinen (Ed.) *International Conference on Weightlifting and Strength Training, Conference Book*. Printing by Gummeras Printing, Finland, pp. 149-150.
30. Bentley D.J., Smith P.A., Davie A.J., Zhou S. (2000) Muscle activation of the knee extensors following high intensity endurance exercise in cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81(4): 297-302.
31. Berry M.J., Storsteen J.A., Woodard C.M. (1993) Effects of body mass on exercise efficiency and  $\dot{V}_{O_2}$  during steady-state cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(9): 1031-1037.
32. Billat L.V. (2001) Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports Med.* 31(2): 75-90.
33. Blazevich A.J., Jenkins D.G. (2002) Effect of the velocity of resistance training in concurrently training, elite junior sprinters. Koskolou M., Geladas N., Klissouras V. (Eds.) *Proceedings, 7<sup>th</sup> European College of Sport Science*, Athens, Greece, 24-28 July 2002. Published by Pashalidis Medical Publisher, Athens, Vol. 1: 458.
34. Blanc S., Casas H., Duché P., Banne B., Bedu M. (1998) Effect of recovery duration on the force-velocity relationship. *Int. J. Sports Med.* 19: 272-276.
35. Bobbert M.F., Harlaar J. (1993) Evaluation of moment-angle curves in isokinetic knee extension. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 251-259.
36. Bobbert M.F., Gerritsen K.G.M., Litjens M.C.A., van Soest A.J. (1996) Why countermovement jump height greater than squat jump height? *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(11): 1402-1414.
37. Bober T., Hay G.J. (1979) Z badań nad kryterium poprawnego przebiegu ruchu poprzedzonego rozmachem. *Sport Wyczynowy* 6: 32-39.
38. Bober T., Hay J. G. (1990) Topografia siły mięśni kończyn człowieka. *Wychow. Fiz. Sport* 3: 3-23.
39. Bober T., Pietraszewski B. (1996) Strength of muscle groups in swimmers. *Biol. Sport* 13(2): 155-164.
40. Bober T., Kulig K., Burnfield J.M., Pietraszewski B. (2002) Predictive torque equations for joints of the extremities. *Acta Bioeng. Biomech.* 4(2): 49-60.

41. Bober T. (2003) Notes on a role of biomechanics in sport performance enhancement and sport humanization expectations. *Acta Bioeng. Biomech.* 5 (Suppl. 1): 67-72.
42. Bober T., Zawadzki B. (2006) *Biomechanika układu ruchu człowieka*, Wydawnictwo BK, Wrocław.
43. Bogdanis G.C., Nevill M.E., Lakomy H.K.A., Graham C.M., Louis G. (1996a) Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74: 461-469.
44. Bogdanis G.C., Nevill M.E., Boobis L.H., Lakomy H.K.A. (1996b) Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J. Appl. Physiol.* 80: 876-884.
45. Bonen A., McCullagh K.J.A., Putman C.T., Hultman E., Jones N.L., Heigenhauser G.J.F. (1998) Short-term training increases human muscle MCT1 and femoral venous lactate in relation to muscle lactate. *Am. J. Physiol.* 274(Endocrinol. Metab. 37): E102-E107.
46. Böning D., Gönen Y., Maassen N. (1984) Relationship between work load, pedal frequency, and physical fitness. *Int. J. Sports Med.* 5: 92-97.
47. Borkowski L., Faff J., Starczewska-Czapowska J., Zdanowicz R. (1999) Physical fitness of the polish elite wrestlers. *Biol. Sport* 16(3): 203-213.
48. Bosco C., Komii P.V. (1979) Potentiation of the mechanical behaviour of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiol. Scand.* 106(4): 467-472.
49. Bosco C., Viitasalo J.T., Komi P.V., Luhtanen P. (1982a) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol. Scand.* 114(4): 557-565.
50. Bosco C., Tihanyi J., Komi P.V., Fekete G., Apor P. (1982b) Store and recoil of elastic energy in slow and fast types of human skeletal muscles. *Acta Physiol. Scand.* 116: 343-349.
51. Bottinelli R., Canepari M., Pellegrino M.A., Reggiani C. (1996) Force-velocity properties of human skeletal muscle fibres: myosin heavy chain isoform and temperature dependence. *J. Physiol.* 495: 573-586.
52. Bruhn S., Kullmann N., Gollhofer A. (2004) The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilization, maximum isometric contraction and jump performance. *Int. J. Sports Med.* 25(1): 56-60.
53. Burke J., Thayer R., Belcamino M. (1994) Comparison of effects of two interval-training programmes on lactate and ventilatory thresholds. *Br. J. Sports Med.* 28(1): 18-21.
54. Buško K. (1988a) An attempt at the evaluation of the lower extremities power during a vertical jump on a dynamometric platform. *Biol. Sport* 5: 219-225.
55. Buško K. (1988b) The use of stored elastic energy: differences between vertical jump and jump with throw of the ball. *Proceedings of the Second Biomechanics Seminar 1988*. Editors: S. Lindgren, B. Aldman, U. Bagge, K.M. Bjursten, T. Hansson, Ch. Hogfors, L. Peterson, P. Renstrom, B. Rydevik. Centre for Biomechanics Chalmers University of Technology and Göteborg University, pp. 179-186.
56. Buško K. (1989) Selected biomechanical characteristic of male and female basketball national team players. *Biol. Sport* 4: 319-329.
57. Buško K. (1990a) *Zmiany mocy mięśni kończyn dolnych z uwzględnieniem ich predyspozycji szybkościowych i wytrzymałościowych*. Praca doktorska, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa.
58. Buško K. (1990b) Changes in muscle torques of the lower extremities during training of various types of muscle effort. *Proceedings of the Fourth Biomechanics Seminar 1990*. Editor: Ch. Hogfors. Centre for Biomechanics Chalmers University of Technology and Göteborg University, 14-24.
59. Buško K., Fidelus K. (1990) The effect of speed and endurance predispositions of lower extremity muscles on changes of their torques induced by training. *Biol. Sport* 2: 97-112.
60. Buško K., Martyn A., Urbanik Cz. (1994) Sprawność mechaniczna u piłkarzy i studentów nietreningujących. *Biomechanika 94, XII Szkoła Biomechaniki*, Wrocław-Szklarska Poręba, 20-23.10.1994, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994, s. 61-64.
61. Buško K. (1996) Sprawność mechaniczna człowieka w wysiłkach o tej samej mocy. *Materiały XIII Szkoły Biomechaniki, Monografie AWF w Poznaniu* Nr 330, s. 70-73.
62. Buško K. (1998a) Muscle torque topography of female basketball players. *Biol. Sport* 15(1): 45-49.
63. Buško K. (1998b) Topografia momentów sił mięśniowych koszykarzy. *Wychow. Fiz. Sport* 1: 117-123.



64. Buśko K., Kłossowski M. (1998) Muscle torque of male basketball players playing at different floor positions. In: H. J. Riehle, M.M. Vieten (Ed). *Proceedings II of the XVI ISBS Symposium*. UVK – Universitätsverlag Konstanz GmbH, Germany 1998, pp. 19-22.
65. Buśko K. (1999) Momenty sił mięśniowych koszykarek grających na różnych pozycjach. *Sport Wyczynowy* 1-2: 52-57.
66. Buśko K., Kłossowski M. (1999) Mechanical efficiency, pH, BE, pCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub> during leg exercise at same relative work. *Wychow. Fiz. Sport*, Vol. XLIII (Suppl. 1): 79-80.
67. Buśko K., Madej A., Mastalerz A., Urbanik Cz., Wit B. (2000a) Zależność między statycznym momentem sił a mocą kończyn dolnych rozwijaną w wybranych aktach ruchowych. *Acta Bioeng. Biomech.* 2(Suppl. 1): 93-98.
68. Buśko K., Wit B., Wychowański M.J., Kruszewski M. (2000c) Współzależność masy beztłuszczowej, statycznych momentów i mocy maksymalnej zawodników trójboju siłowego. *Acta Bioeng. Biomech.* 2, Suppl. 1: 105-110.
69. Buśko K. (2002) Optimal pedalling velocity characteristics during maximal and submaximal efforts on cycloergometer. *Acta Bioeng. Biomech.* 4 (Suppl. 1): 624-625.
70. Buśko K., Wit B. (2002) Force-velocity relationship of lower extremity muscles of karate athletes and rowers. *Biol. Sport* 19(4): 373-384.
71. Buśko K., Wit B. (2003a) Force-velocity curve and power in karate, rowing and volleyball athletes. *Acta Bioeng. Biomech.* 5(Suppl. 1): 67-72.
72. Buśko K., Wit B. (2003b) Changes in body components as a result of various-intensity training on a cycloergometer. *J. Human Kinetics* 9: 39-51.
73. Buśko K. (2004a) The influence of pedalling frequency on mechanical efficiency in exercises with the same intensity. *Biol. Sport* 21(1): 51-56.
74. Buśko K. (2004b) Changes of maximal power, force-velocity and power-velocity relationship of lower extremity muscles in volleyball players during training. *Acta Bioeng. Biomech.* 6(Suppl. 1): 246-249.
75. Buśko K. (2004c) Changes in maximal power of lower limbs in response to various training mode on a cycloergometer. *Phys. Educ. Sport* 48(2): 125-131.
76. Buśko K., Madej A., Mastalerz A., Urbanik Cz. Wit B. (2004) Dependence between maximal power developed in selected movement acts and lean body mass and static torque of the lower limbs. *Phys. Educ. Sport* 48(1): 33-40.
77. Buśko K. (2005) Power output and mechanical efficiency of human muscle in maximal cycle ergometer efforts at different pedalling rates. *Biol. Sport* 2005, 22(1): 35-51.
78. Buśko K., Opaszowski B.H. (2005) Hormonal responses to repeated bouts of supramaximal cycle ergometer exertions. *Phys. Educ. Sport*, 2005, 49(1): 19-23. (URL: www.pheds.com, *Phys. Educ. Sport*, 2005, 49: 8-12)
79. Buttelli O., Vandewalle H., Jouanin J.C., Seck D., Monod H. (1997) Effects of aerobic exercise on the torque-velocity relationship in cycling. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 75(6): 499-503.
80. Cadefau J., Casademont J., Grau J.M., Fernandez J., Balaguer A., Vernet M., Cusso R., Urbano-Marquez A. (1990) Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol. Scand.* 140: 341-351.
81. Calbet J.A.L., Navarro M.A., Barbany J.R., Garcia Manso J., Bonnin M.R., Valero J. (1993) Salivary steroid changes and physical performance in highly trained cyclists. *Int. J. Sports Med.* 14: 111-117.
82. Calbet J.A.L., Chavarren J., Dorado C. (1997) Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 76: 308-313.
83. Cannon E.W., Rhodes E.C., Langill R.H. (2003) The effects of training on aerobic power and excess post exercise oxygen consumption. *Biol. Sport* 20(2): 113-127.
84. Cavagna G.A., Saibene F.P., Margaria R. (1965) Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J. Appl. Physiol.* 20(1): 157-158.
85. Cavanagh P.R., Komi P.V. (1979) Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42(3): 159-163.

86. Chavarren C., Dorado G.C., Sanchis M.J., Ferragut F.C., Calbet J.A.L. (1997) Delta efficiency increases with pedalling frequency in competitive road cyclists. (Eds.) Bangsbo J., Saltin B., Bonde H., Hellsten Y., Ibsen B., Kjar M., Sjøgaard G. *Second Annual Congress of the European College of Sports Science, Book of Abstract II*. University of Copenhagen, Copenhagen, pp. 502-503.
87. Chavarren J., Calbet J.A.L. (1999) Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80: 555-563.
88. Coast J.R., Welch H.G. (1985) Linear increase in optimal pedalling rate with increased power output in cycle ergometry. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53: 339-342.
89. Coast J.R., Cox R.H., Welch H.G. (1986) Optimal pedalling rate in prolonged bouts of cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 225-230.
90. Costill D.L., Coyle E.F., Fink W.F., Lesmes G.R., Witzmann F.A. (1979) Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J. Appl. Physiol.* 46: 96-99.
91. Coyle E.F., Costill D.L., Lesmes G.R. (1979) Leg extension power and muscle fiber composition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11: 12-15.
92. Coyle E.F., Feiring D.C., Rotkis T.C., Cote R.W. 3<sup>rd</sup>, Roby F.B., Lee W., Wilmore J.H. (1981) Specificity of power improvements through slow and fast isokinetic training. *J. Appl. Physiol.* 51(6): 1437-1442.
93. Coyle E.F., Sidossis L.S., Horowitz J.F., Beltz J.D. (1992) Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24(7): 782-788.
94. Coyle E.F. (1995) Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc. Sports Sci. Rev.* 23: 25-63.
95. Craig B.W., Lucas J., Pohlman R., Stelling H. (1991) The effects of running, weightlifting and a combination of both on growth hormone release. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 5: 198-203.
96. Cronin J.B., McNair P.J., Marshall R.N. (2003) Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J. Strength Cond. Res.* 17(1): 148-155.
97. Davies C.T.M., Wemyss-Holden J., Young K. (1984) Measurement of short term power output: Comparison between cycling and jumping. *Ergonomics* 27: 285-296.
98. Davies C.T.M., Young K. (1984) Effects of external loading on short term power output in children and young male adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52(3): 351-354.
99. Denis C., Linossier M.T., Dormois D., Padilla S., Geysant A., Lacour I.R., Inbar O. (1992) Power and metabolic responses during supramaximal exercise in 100-m and 800-m runners. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 2: 62-69.
100. Diallo O., Dore E., Duche P., Van Praagh E. (2001) Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J. Sports Med. Physiol. Fitness* 2001 41(3): 342-348.
101. Dore E., Duche P., Rouffet D., Ratel S., Bedu M., Van Praagh E. (2003) Measurement error in short-term power testing in young people. *J. Sports Sci.* 21(2): 135-142.
102. Dorel S., Bourdin M., Van Praagh E., Lacour J-R., Hautier C.A. (2003) Influence of two pedaling rate conditions on mechanical output and physiological responses during all-out intermittent exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89(2): 157-165.
103. Dotan R., Bar-Or O. (1983) Load optimization for the Wingate anaerobic test. *Eur. J. Appl. Physiol.* 51: 409-417.
104. Dowling J.J., Vamos L. (1993) Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *J. Appl. Biomech.* 9: 95-110.
105. Driss T., Vandewalle H., Le Chevalier J.M., Monod H. (2002) Force-velocity relationship on a cycle ergometer and knee-extensor strength indices. *Can. J. Appl. Physiol.* 27(3): 250-262.
106. Dudley G.A., Abraham W.M., Terjung R.L. (1982) Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 53: 844-850.
107. Dworak L.B. (1990) Naturalny trend siły wybranych zespołów mięśniowych w ontogenezie dzieci i młodzieży wielkomięskiej populacji – inspiracje biomechaniczne. *Monografie, Podręczniki, Skrypty AWF Poznań*, 283: 1-244.

108. Dworak L.B., Wojtkowiak T., Kołaczkowski Z., Kmieciak K., Mączyński J. (2001) Związki momentów sił mięśniowych prostowników i zginaczy stawów kończyny dolnej z globalną siłą prostowania. *Acta Bioeng. Biomech.* 3(Suppl. 2): 117-121.
109. Elias J., Dereń M., Madej A. (2002) Relationship between an isometric strength of lower limbs and maximal mechanical power developed during different laboratory motor tests. *Acta Bioeng. Biomech.* 4 (Suppl. 1): 633-634.
110. Ericson M.O., Bratt Ł., Nisell R., Arborelius U.P., Ekholm J. (1986) Power output and work in different muscle groups during ergometer cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55(3): 229-235.
111. Ericson M.O. (1988) Mechanical muscular power output and work during ergometer cycling at different work loads and speeds. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 382-387.
112. Ericson M.O., Nisell R. (1988) Efficiency of pedal forces during ergometer cycling. *Int. J. Sports Med.* 9: 118-122.
113. Esbjörnsson M., Hellsten-Westing Y., Balsom P.D., Sjödin B., Jansson E. (1993) Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. *Acta Physiol. Scand.* 149: 245-246.
114. Esbjörnsson Liljedahl M., Holm I., Sylvén Ch, Jansson E. (1996) Different responses of skeletal muscle following sprint training in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74: 375-383.
115. Esbjörnsson Liljedahl M., Sundberg C.J., Norman B., Jansson E. (1999) Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women. *J. Appl. Physiol.* 87(4): 1326-1332.
116. Ewing J.L. Jr, Wolfe D.R., Rogers M.A., Amundson M.I., Stull G.A. (1990) Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fibre characteristics. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 61(1-2): 159-162.
117. Faria I., Sjøgaard G., Bonde-Petersen F. (1982) Oxygen cost during different pedalling speeds for constant power output. *J. Sports Med.* 22: 295-299.
118. Faulkner J.A., Claflin D.R., McCully K.K. (1986) Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles. In: Jones N.L., McCartney N., McComas A.J. (Eds) *Human muscle power*. Human Kinetics, Champaign, III, pp. 81-91.
119. Ferguson R.A., Ball D., Krstrup P., Aagaard P., Kjaer M., Sargeant A.J., Hellsten Y., Bangsbo J. (2001) Muscle oxygen uptake and energy turnover during dynamic exercise at different contraction frequencies in humans. *J. Physiol.* 536(1): 261-271.
120. Ferri A., Scaglioni G., Ciuffreda L., Capodaglio P., Van Hoecke J., Narici M.V. (2000) Muscle strength and power changes following a 16-week resistance training in the elderly. Avela J., Komi P.V., Komulainen J.J. (Eds) *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European Collage of Sport Science*, Jyväskylä, Finland, pp. 261.
121. Fidelus K. (1974) Propozycje jednolitego pomiaru obciążeń treningowych. *Sport Wyczynowy* 9: 3-10.
122. Fidelus K. (1982) Zastosowanie biomechaniki do analizy skuteczności treningu w piłce nożnej. *Sport Wyczynowy* 11: 3-10.
123. Fidelus K., Urbanik C. (1984) The influence of various types of muscle effort on the effect of strength and speed training. *Biol. Sport* 1(3-4): 185-198.
124. Fidelus K. (1989) *Zarys biomechaniki ćwiczeń fizycznych*. Warszawa, AWF.
125. Fidelus K., Buśko K., Musiał W., Ostrowska E., Urbanik C., Wychowański M.J. (1991a) Wpływ mocy ćwiczeń na efekt treningowy przy względnie stałej wartości pracy. VII Szkoła Biomechaniki. *Monografie, podręczniki, skrypty AWF w Poznaniu*, Nr 271, str. 185-198.
126. Fidelus K., Buśko K., Musiał W., Ostrowska E., Urbanik C., Wychowański M.J. (1991b) Poszukiwanie zależności między czasem przerw odpoczynkowych podczas treningu, a zmianą mocy i siły mięśni kończyn dolnych. VII Szkoła Biomechaniki. *Monografie, podręczniki, skrypty AWF w Poznaniu*, Nr 271, str. 211-222.
127. Fidelus K., Buśko K., Ostrowska E., Urbanik C., Wychowański M. (1992) Wpływ ćwiczeń fizycznych i czasu przerw odpoczynkowych na potencjał dynamiczny człowieka. *Studia i Monografie AWF we Wrocławiu*, Wydawnictwo AWF, Zeszyt 29: 181-201.

128. Fidelus K., Buśko K., Urbanik C., Wychowański M. (1994) Zmiana momentów sił prostowników stawu kolanowego w funkcji kąta stawowego. *Biomechanika 94, XII Szkoła Biomechaniki*, Wrocław-Szklarska Poręba, 20-23.10.1994, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, s. 98-100.
129. Fidelus K., Ostrowska E., Tokarski T., Urbanik C., Wychowański M. (1996) Zmiany siły i mocy mięśni kończyn dolnych pod wpływem treningu na cykloergometrze. Materiały XIII Szkoły Biomechaniki, *Mono-grafie AWF w Poznaniu*, Nr 330, s. 177-182.
130. Fidelus K., Wychowański M., Barzykowski J., Praibisch P., Kuchta M. (1997) Metrologiczna analiza dynamiki prostowania w stawie kolanowym. *Biol. Sport* 14(Suppl. 7): 217-221.
131. Fowler N.E., Trzaskoma Z., Wit A., Iskra L., Lees A. (1995) The effectiveness of a pendulum swing for the development of the leg strength and counter-movement jump performance. *J. Sports Sciences* 13: 101-108.
132. Gabriel D.A., Kamen G., Frost G. (2006) Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med.* 36(2): 133-149.
133. Gabryś T., Borek Z., Szmatlan-Gabryś U., Gromisz W. (2004) *Test Wingate. Wybrane zagadnienia diagnostyki wydolności beztlenowej w sporcie*. Beskidzka Wyższa Szkoła Turystyki w Żywcu, Gliwice, s. 1-176.
134. Gaesser G.A., Brooks G.A. (1975) Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate. *J. Appl. Physiol.* 38: 1132-1139.
135. Gaiga M.C., Docherty D. (1995) The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Can. J. Appl. Physiol.* 20(4): 452-464.
136. Gajewski J., Janiak J., Eliaz J., Wit A. (1996) Determinants of the maximal mechanical power developed during the counter-movement jump. In: Abrantes J. (Ed.) *Proc. 14<sup>th</sup> Intern. Symp. Biomechanics in Sports*, Funchal-Madera-Portugal, pp. 420-423.
137. Gajewski J., Wit A. (1998) The influence of selected body dimensional variables on the mechanical parameters of the vertical jump. In: H. J. Riehle, M.M. Vieten (Eds) *Proceedings I of the XVI ISBS Symposium*. UVK – Universitätsverlag Konstanz GmbH, Germany, pp. 105-108.
138. Gettmann L.R., Ayers J.J., Pollock M.L., Jackson A. (1978) The effect of circuit weight training on strength, cardiorespiratory function, and body composition of adult men. *Med. Sci. Sports* 10: 171-176.
139. Gollnick P.D., Armstrong R.B., Saubert IV C.W., Piehl K., Saltin B. (1972) Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol.* 33:312-319.
140. Gollnick P.D., Piehl K., Saltin B. (1974) Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedaling rates. *J. Physiol.* 241: 45-57.
141. Gotshall R.W., Bauer T.A., Fahrner S.L. (1996) Cycling cadence alters exercise hemodynamics. *Int. J. Sports Med.* 17(1): 17-21.
142. Granier P., Mercier B., Anselme F., Préfaut C. (1995) Aerobic and anaerobic contribution to Wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70: 58-65.
143. Hagberg J.M., Mullin J.P., Giese M.D., Spitznagel E. (1981) Effect of pedalling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclists. *J. Appl. Physiol.* 51: 447-451.
144. Häkkinen K., Komi P.V. (1982) Specificity of training-induced changes integrative function of the neuromuscular system. *World Weightlifting* 3: 44-46.
145. Häkkinen K., Komi P.V., Alén M., Kauhanen H. (1987) EMG, muscle fiber and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight lifters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1987, 56: 419-427.
146. Häkkinen K. (2000) Neuromuscular adaptation to strength training in men and women and strength athlete. In: C.P. Lee (Ed.) *2<sup>nd</sup> International Conference on Weightlifting and Strength Training*, Ipoh, Malaysia. Pro Muscle, Dept. of Education 2000, 5-9.
147. Häkkinen K., Alén M., Kraemer W.J., Gorostiaga E., Izquierdo M., Rusko H., Mikkola J., Häkkinen A., Valkeinen H., Kaarakainen E., Romu S., Erola V., Ahtiainen J., Paavolainen L. (2003) Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89(1): 42-52.
148. Hamar D., Gazovic O., Schickhofer P. (1998) A simple system for strength testing and feedback monitoring of weight training. In: K. Häkkinen (Ed.) *Conference book, International Conference on Weightlifting and Strength Training*, Lahti, Finland. Printed by Gummeras Printing, Finland, pp. 169-170.

149. Hamar D. (1999) Monitorowanie biomechanicznych parametrów ruchu podczas ćwiczeń ze sztangą. *Sport Wyczynowy* 1-2: 36-45.
150. Hansen E.A., Andersen J.L., Nielsen J.S., Sjøgaard G. (2002a) Muscle fibre type, efficiency, and mechanical optima affect freely chosen pedal rate during cycling. *Acta Physiol. Scand.* 176(3): 185-194.
151. Hansen E.A., Jorgensen L.V., Jensen K., Fregly B.J., Sjøgaard G. (2002b) Crank inertial load affects freely chosen pedal rate during cycling. *J. Biomech.* 35(2): 277-285.
152. Harley R.A., Doust J.H. (1994) Effects of different degrees of knee flexion during continuous vertical jumping on power output using the Bosco formula. *J. Sports Sciences* 12(2): 139-140.
153. Harman E.A., Rosenstein M.T., Frykman P.N., Rosenstein R.M., Kraemer W.J. (1991) Estimation of human power output from vertical jump. *J. Appl. Sports Sci. Res.* 5: 116-120.
154. Harms S.J., Hickson R.C. (1983) Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training. *J. Appl. Physiol.* 54: 798-802.
155. Harre D (Red.) (1979) *Trainingslehre*. Sportverlag, Berlin.
156. Harre D. (Red.) (1985) *Trainingslehre*. Sportverlag, Berlin.
157. Harris G.L., Stone M.H., O'Bryant H.S., Proulx C.M., Johnson R.L. (2000) Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight-training methods. *J. Strength Cond. Res.* 14(1): 14-20.
158. Hautier C.A., Linossier M.-T., Belli A., Lacour J.-R., Arzac L.M. (1996) Optimal velocity for maximal power production in non-isokinetic cycling is related to muscle fibre type composition. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74(1-2): 114-118.
159. Henriksson J., Reitman J.S. (1976) Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training. *Acta Physiol. Scand.* 97(3): 392-397.
160. Henriksson J. (1996) Muscle adaptation to endurance training: impact on fuel selection during exercise. In: Maughan R.J., Shirreffs S.M. (Eds) *Biochemistry of exercise. Vol. IX. Human Kinetic*, Champaign, Ill., pp 329-338.
161. Hertogh C., Hue O. (2002) Jump evaluation of elite volleyball players using two methods: jump power equations and force platform. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 42(3): 300-303.
162. Hickson R.C. (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 45: 255-263.
163. Hill A.V. (1938) The heat of shortening and dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 126: 136-195.
164. Hill A.V. (1964) The efficiency of mechanical power development during muscular shortening and its relation to load. *Proc. R. Soc. London Ser. B* 159: 319-325.
165. Hintzy F., Belli A., Grappe F., Rouillon J.-D. (1999) Optimal pedalling velocity characteristics during maximal and submaximal cycling in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79: 426-432.
166. Hof A.L. (1988) Assessment of muscle force in complex movements by EMG. In Gert de Groot, A. Peter Hollander, Peter A. Huijting, Gerrit Jan van Ingen Schenau (Eds). *Biomechanics XI-A*, Free University Press, Amsterdam, pp. 111-118
167. Holloszy J.O., Booth F.W. (1976) Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Ann. Rev. Physiol.* 38: 273-295.
168. Holmberg H.-C., Nilsson J., Tveit P., Hallén J. (2000) Performance and metabolic effects of aerobic and anaerobic double poling ergometer training. In: Avela J., Komi P.V., Komulainen J. (Eds) *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European Collage of Sport Science*, Jyväskylä, Finland, pp. 325.
169. Hoppeler H. (1986) Exercise-induced changes in skeletal muscle. *Int. J. Sports Med.* 7: 187-204.
170. Horowitz J.F., Sidossis L.S., Coyle E.F. (1994) High efficiency of type I muscle fibers improves performance. *Int. J. Sports Med.* 15: 152-157.
171. Houston M.E., Wilson D.M., Green H.J., Thomson J.A., Ranney D.A. (1981) Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46(3): 283-291.
172. Hudson J.L. (1986) Coordination of segments in the vertical jump. *Med. Sci Sports Exerc.* 18(2): 242-251.
173. Hull M.L., Gonzalez H.K., Redfield R. (1988) Optimization of pedaling rate in cycling using a muscle stress-based objective function. *Int. J. Sports Biomech.* 4: 1-20.

174. Inbar O., Bar-Or O., Skinner J.S. (1996) *The Wingate Anaerobic Test*. Human Kinetic Publisher, USA.
175. Izquierdo M., Häkkinen K., Gonzales-Badillo J.J., Ibanez J., Gorostiaga E.M. (2002) Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87(3): 264-271.
176. Jacobs I., Bar-Or O., Karlsson J., Dotan R., Tesch P.A., Kaiser P., Inbar O. (1982) Changes in muscle metabolites in female with 30-s exhaustive exercise. *Med. Sci. Sports Exercise* 14(6): 457-460.
177. Jacobs I., Esbjornsson M., Sylven C., Holm I., Jansson E. (1987) Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: 368-374.
178. Janiak J., Elias J., Gajewski J. (1997) Maksymalna siła statyczna kończyn dolnych a parametry wyskoku pionowego. *Biol. Sport* 14, suppl. 7: 65-69.
179. Janiak J., Gajewski J., Trzaskoma Z. (1998) The maximal muscle torques distribution among muscle groups in elite athletes in combat sports. In: H. J. Riehle, M.M. Vieten (Eds) *Proceedings 1 of the XVI ISBS Symposium*. UVK – Universitätsverlag Konstanz GmbH, Germany 1998, pp. 120-123.
180. Jaskólska A., Goossens P., Veemstra B., Jaskólski A., Skinner S. (1999) Comparison of treadmill and cycle ergometer measurements of force-velocity relationships and power output. *Int. J. Sports Med.* 20: 192-197.
181. Jaszczuk J., Buczek M., Karpiłowski M., Nosarzewski Z., Wit A., Witkowski M. (1987) Set-up force measurements in static condition. *Biol. Sport* 4(1/2): 41-55.
182. Jaszczuk J., Wit A., Trzaskoma Z., Iskra L., Gajewski J. (1988) Biomechanical criteria of muscle force evaluation in the aspect of top-level athletes selection. *Biol. Sport* 5(1): 51-64.
183. Jensen R.C., Warren B., Laursen C., Morrissey M.C. (1991) Static pre-load effect on knee extensor isokinetic concentric and eccentric performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 10-14.
184. Jones K., Bishop P., Hunter G., Fleisig G. (2001) The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J. Strength Cond. Res.* 15(3): 349-356.
185. Kanehisa H., Miyashita M. (1983) Specificity of velocity in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52(1): 104-106.
186. Kanehisa H., Ikegawa S., Fukunaga T. (1997) Force-velocity relationships and fatigability of strength and endurance-trained subjects. *Int. J. Sports Med.* 18(2): 106-112.
187. Kaneko M., Fuchimoto T., Ito A., Toyooka I. (1983a) Mechanical efficiency of sprinters and distance runners during constant speed running. In: H. Matsui, K. Kobayashi (Eds). *Biomechanics VIII-B*. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, pp. 754-762.
188. Kaneko M., Fuchimoto T., Toji H., Sueti K. (1983b) Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand. J. Sports Sci.* 5: 50-55.
189. Kang J., Robertson R.J., Goss F.L., Dasilva S.G., Sumiński R.R., Utter A.C., Zoeller R.F., Metz K.F. (1997) Metabolic efficiency during arm and leg exercise at the same relative intensities. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(3): 377-382.
190. Karpiłowski B., Nosarzewski Z., Staniak Z., Trzaskoma Z. (2001) Zależność między siłą ciosu a maksymalnym momentem sił głównych grup mięśniowych u bokserów. *Acta Bioeng. Biomech.* 3(Suppl. 2): 241-244.
191. Kautz S.A., Feltner M.E., Coyle E.F., Baylor A.M. (1991) The pedalling technique of elite endurance cyclists: changes with increasing workload at constant cadence. *Int. J. Sport Biomech.* 7: 29-53.
192. Kawakami Y., Kubo K., Kanehisa H., Fukunaga T. (2002) Effect of series elasticity on isokinetic torque-angle relationship in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87: 381-387.
193. Kibele A. (1998) Possibilities and limitations in the biomechanical analysis of countermovement jumps: a methodological study. *J. Appl. Biomech.* 14: 105-117.
194. Kistler Instruments AG (1991) *Operating Instructions 8-Channel Charge Amplifier Type 9865 B*. Kistler Instruments AG, Po Box, CH-8408 Winterthur, Switzerland.
195. Klimek A.T., Cempla J., Pilch W. (1998) Exercise-induced changes in selected indices of acid-base balance in pre- and post-pubertal boys. *Biol. Sport* 15(3): 151-156.
196. Kohler G., Boutellier U. (2005) The generalized force-velocity relationship explains why the preferred pedaling rate of cyclists exceeds the most efficient one. *Eur. J. Appl. Phys.* DOI: 10.1007/s00421-004-1283-2 (Epub, Jan 15, URL: <http://www.springerlink.com>).

197. Komi P.V., Bosco C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and woman. *Med. Sci. Sport* 10(4): 261-265.
198. Krammer J.F., Vaz M.D., Hakansson D. (1991) Effect of activation force of knee extensor torques. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 231-237.
199. Kraemer W.J., Patton J.F., Gordon S.E., Harman E.A., Deschenes M.R., Reynolds K., Newton R.U., Triplett N.T., Dziados J.E. (1995) Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 78(3): 976-989.
200. Kraemer W.J., Gardiner D.F., Gordon S.E., Koziris L.P., Sebastianelli W., Putukian M., Newton R.U., Ratamess N.A., Volek J.S., Häkkinen K. (2001) Differential effects of exhaustive cycle ergometry on concentric and eccentric torque production. *J. Sci. Med. Sport* 4(3): 301-309.
201. Król H., Bacik B. (2000) Moc mechaniczna jako miara zdolności siłowo-szybkościowych człowieka. *Acta Bioeng. Biomech.* 2000, 2 (Suppl. 1): 271-276.
202. Kubo K., Yata H., Kanehisa H., Fukunaga T. (2006) Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 96: 305-314.
203. Kyröläinen H., Avela J., McBride J.M., Koskinen S., Andersen J.L., Sipilä S., Takala T.E., Komi P.V. (2005) Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 15(1): 58-64.
204. Lepers R., Hausswirth C., Maffiuletti N., Brisswalter J., Van Hoeck J. (2000) Evidence of neuromuscular fatigue after prolonged cycling exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(11): 1880-1886.
205. Lepers R., Millet G.Y., Maffiuletti N.A. (2001) Effect of cycling cadence on contractile and neural properties of knee extensors. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(11): 1882-1888.
206. Linossier M.-T., Denis C., Dormois D., Geysant A., Lacour J.R. (1993) Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67: 408-414.
207. Linossier M.-T., Dormois D., Fouquet R., Geysant A., Denis C. (1996) Use of force-velocity test to determine the optimal braking force for a sprint exercise on a friction-loaded cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 74: 420-427.
208. Linossier M.-T., Dormois D., Geysant A., Denis C. (1997a) Performance and fibre characteristics of human skeletal muscle during short sprint training and detraining on a cycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75: 491-498.
209. Linossier M.-T., Dormois D., Perier C., Frey J., Geysant A., Denis C. (1997b) Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining. *Acta Physiol. Scand.* 161(4): 439-445.
210. Lorenz R., Büchl A., Lehner F., Jeschke D. (2000) Sensitivity of a new method for the diagnostics of anaerobic performance components in intensive endurance, interval, and resistance training. Avela J., Komi P.V., Komulainen J.J. (Eds.) *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European Collage of Sport Science*, Jyväskylä, Finland, pp. 449.
211. Lutosławska G., Hübner-Woźniak E., Sitkowski D., Borkowski L. (1998) Relationship between anaerobic capacity and blood lactate following the Wingate test in elite wrestlers during an annual training cycle. *Biol. Sport* 15(2): 67-74.
212. MacDougall J.D., Hicks A.L., MacDougal J.R., McKelvie R.S., Green H.J., Smith K.M. (1998) Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J. Appl. Physiol.* 84(6): 2138-2142.
213. MacIntosh B.R., Neptune R.R., Horton J.F. (2000) Cadence, power, and muscle activation in cycle ergometry. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(7): 1281-1287.
214. MacIntosh B.R., Rishaug P., Svedahl K. (2003) Assessment of peak power and short-term work capacity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88(6): 572-579.
215. MacRae H.S.-H., Dennis S.C., Bosch A.N., Noakes T.D. (1992) Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 72: 1649-1656.
216. Mannion A.F., Jakeman P.M., Willan P.L. (1992) Effects of isokinetic training of the knee extensors on isometric strength and peak power output during cycling. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 65(4): 370-375.

217. Mannion A.F., Jakeman P.M., Willan P.L. (1994) Effects of isokinetic training of the knee extensors on high-intensity exercise performance and skeletal muscle buffering. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 68(4): 356-361.
218. Marais G., Dupont L., Maillet M., Weissland T., Vanvelcena Pelayo P. (2002a) Spontaneously chosen crank rate variations in submaximal arm exercise with inexperienced subjects. Effects on cardiorespiratory and efficiency parameters. *Int. J. Sports Med.* 23(2): 120-124.
219. Marais G., Dupont L., Maillet M., Weissland T., Vanvelcena Pelayo P. (2002b) Cardiorespiratory and efficiency responses during arm and leg exercises with spontaneously chosen crank and pedal rates. *Ergonomics* 45(9): 631-639.
220. Marsh A.P., Martin P.E. (1993) The association between cycling experience and preferred and most economical cycling cadences. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25: 1269-1274.
221. Marsh A.P., Martin P.E. (1997) Effect of cycling experience, aerobic power, and power output on preferred and most economical cycling cadences. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(9): 1225-1232.
222. Marsh A.P., Martin P.E., Foley K.O. (2000a) Effect of cadence, cycling experience, and aerobic power on delta efficiency during cycling. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(9): 1630-1634.
223. Marsh A.P., Martin P.E., Sanderson D.J. (2000b) Is a joint moment-based coast function associated with preferred cycling cadence? *J. Biomech.* 33(2): 173-180.
224. Martin J.C., Diedrich D., Coyle E.F. (2000) Time course of learning to produce maximum cycling power. *Int. J. Sports Med.* 21(7): 485-487.
225. Martin R.J., Dore E., Twisk J., Van Praagh E., Hautier C.A., Bedu M. (2004) Longitudinal changes of maximal short-term peak power in girls and boys during growth. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36(3): 498-503.
226. Mastalerz A., Urbanik C. (2003) Effect of isometric muscle pre-contraction in the isokinetic motion. *Acta Bioeng. Biomech.* 5 (Suppl. 1): 329-334.
227. Matavulj D., Kukulj M., Ugarkovic D., Tihanyi J., Jaric S. (2001) Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 41(2): 159-164.
228. McCartney N., Heigenhauser G.J.F., Jones N.L. (1983) Power output and fatigue of muscle in maximal cycling exercise. *J. Appl. Physiol.* 55: 218-224.
229. McDaniel J., Durstine J.L., Hand G.A., Martin J.C. (2002) Determinants of metabolic cost during submaximal cycling. *J. Appl. Physiol.* 93: 823-828.
230. McKenna M.J., Schmidt T.A., Hargreaves M., Cameron L., Skinner S.L., Kjeldsen K. (1993) Sprint training increases human skeletal muscle  $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{ATPase}$  concentration and improves  $\text{K}^+$  regulation. *J. Appl. Physiol.* 75(1): 173-180.
231. McNaughton L., Thomas D. (1996) Effects of differing pedaling speeds on the power-duration relationship of high intensity cycle ergometry. *Int. J. Sports Med.* 17(4): 287-292.
232. McNeil A.R. (1988) The spring in your step: the role of elastic mechanisms in human running. In Gert de Groot, A. Peter Hollander, Peter A. Huijing, Gerrit Jan van Ingen Schenau (Eds). *Biomechanics XI-A*, Free University Press, Amsterdam, pp. 17-25
233. Medbø J.I., Tabata I. (1989) Relative importance of aerobic and anaerobic energy release during short-lasting exhausting bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.* 67(5): 1881-1886.
234. Moczko J. (2003) Wybrane metody eksploracji danych i wspomaganie procesów decyzyjnych. W: *Metody statystyki i data mining w badaniach naukowych*. StatSoft, Warszawa-Kraków, s. 5-21.
235. Moritani T., Muro M., Ishida K., Taguchi S. (1987) Electrophysiological analyses of the effects of muscle power training. *Res. J. Phys. Ed.* 1: 23-32.
236. Moseley L., Jeukendrup A.E. (2001) The reliability of cycling efficiency. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33(4): 621-627.
237. Moss B.M., Refsnes P.E., Abildgaard A., Nicolaysen K., Jensen J. (1997) Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75: 193-199.
238. Murphy A.J., Wilson G.J., Pryor J.F., Newton R.J. (1995) Isometric assessment of muscular function: the effect of joint angle. *J. Appl. Biomech.* 11: 205-215.



239. Neptune R.R., Kautz S.A., Hull M.L. (1997) The effect of pedaling rate on coordination in cycling. *J. Biomech.* 30(10): 1051-1058.
240. Nesi X., Bosquet L., Berthoin S., Dekerle J., Pelayo P. (2004) Effect of a 15% increase in preferred pedal rate on time to exhaustion during heavy exercise. *Can. J. Appl. Physiol.* 29(2): 146-156.
241. Nevill M.E., Boobis L.H., Brooks S., Williams C. (1989) Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J. Appl. Physiol.* 67(6), 2376-2382.
242. Norkowski H. (2003) *Struktura obciążeń wysiłkowych a efekty treningu przerywanego o maksymalnej intensywności. Studia i Monografie nr 89*, Wydawnictwo AWF, Warszawa, s. 1-182.
243. Norkowski H., Buśko K. (2004) Changes in power output under the influence of sprint training in handball players. *Acta Bioeng. Biomech.* 6(1): 31-40.
244. O'Connor J. (1987) *A cross-sectional and longitudinal investigation of a physical activity classification system*. Unpublished doctoral dissertation. Arizona State University. [za poz. Inbar i wsp. 1996, str. 48-49]
245. Opaszowski B. (1980) Fizjologiczne podstawy lekkoatletycznych wysiłków biegowych. *Roczniki Naukowe AWF Warszawa, Tom XXV*, s. 71-115.
246. Opaszowski B.H., Buśko K. (2003) Plasma growth hormone, cortisol and testosterone responses to repeated and intermittent ergometer exercise at different pedalling rates. *Biol. Sport*, 20(2): 159-172.
247. Osteras H., Helgerud J., Hoff J. (2002) Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships increases in aerobic performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88(3): 255-263.
248. Ostrowska E., Urbanik C., Milewska-Moneta L., Mastalerz A., Iwańska D., Madej A. (2000) The maximal values of torque of knee extensors in full range of motion. *Acta Bioeng. Biomech.* 2(Suppl. 1): 385-390.
249. Parra J., Cadefau J.A., Rodas G., Amigó N., Cussó R., (2000) The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol. Scand.* 169: 157-165.
250. Patterson R.P., Pearson J.L., Fisher S.V. (1983) The influence of flywheel weight and pedalling frequency on biomechanics and physiological responses to bicycle exercise. *Ergonomics* 26: 659-668.
251. Patterson R.P., Moreno M.I. (1990) Bicycle pedalling forces as a function of pedalling rate and power output. *Med. Sci. Sports Exerc.* 22: 512-516.
252. Patton J. F., Duggan A. (1987) Upper and lower body anaerobic power: comparison between biathletes and control subjects. *Int. J. Sports Med.* 8: 94-98.
253. Patton J.F., Kraemer W.J., Knuttgen H.G., Harman E.A. (1990) Factors in maximal power production and in exercise endurance relative to maximal power. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 60: 222-227.
254. Pauletto B. (1994) *Strength training for basketball*. Human Kinetics Publishers, Champaign.
255. Perrine J.J., Edgerton V.R. (1978) Muscle force-velocity and power-velocity relationship under isokinetic loading. *Med. Sci. Sports* 10: 159-166.
256. Phillips S.M., Green H.J., Tamopolsky M.A., Grant S.M. (1995) Increased clearance of lactate after short-term training in men. *J. Appl. Physiol.* 79(6): 1862-1869.
257. Phillips S.M., Green H.J., Tamopolsky M.A., Heigenhauser G.J.F., Grant S.M. (1996) Progressive effect of endurance training on metabolic adaptations in working skeletal muscle. *Am. J. Physiol.* 270 (Endocrinol. Metab. 33): E265-E272.
258. Piliandis T., Smilios M., Christou M., Bithavas G., Tokmakidis S.P. (2002) Vertical jump performance after maximum strength and strength endurance training. Koskolou M., Geladas N., Klissouras V. (Eds.) *Proceedings, 7<sup>th</sup> European College of Sport Science*, Athens, Greece, 24-28 July 2002. Published by Paschalidis Medical Publisher, Athens, Vol. 1: 460.
259. Pilis W. (1991) *Wpływ treningu siłowego na wydolność anaerobową oraz reakcje układu krążenia i metabolizm węglowodanowy*. Wydawnictwo Monograficzne WSP Częstochowa.
260. Pugh L.G. (1974) The relation of oxygen intake and speed in competition cycling and comparative observations on the bicycle ergometer. *J. Physiol. (Lond)* 241: 795-808.
261. Rácz L., Béres S., Hortobágyi T. (2002) Contraction history affects the in vivo quadriceps torque-velocity relationship in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87: 393-402.
262. Rahmani A., Viale F., Dalleau G., Lacour J.-R. (2001) Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 84: 227-232.

263. Redfield R., Hull M.L. (1986) On the relation between joint moments and pedalling rates at constant power in bicycling. *J. Biomech.* 19: 317-329.
264. Rehunen S., Näveri H., Kuoppasalmi K., Härkönen M. (1982) High-energy phosphate compounds during exercise in human slow-twitch and fast-twitch muscle fibres. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 42: 499-506.
265. Roberts A.D., Billeter R., Howald H. (1982) Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int. J. Sports Med.* 3: 18-21.
266. Rodas G., Ventura J.L., Cadefau J.A., Cussó R., Parra J. (2000) A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur. J. Appl. Physiol.* 82: 480-486.
267. Rutherford O.M., Jones D.A. (1986) The role of learning and co-ordination in strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 55: 100-105.
268. Saibene F., Cerretelli P., Di Prampero P.E. (1983) Exercise bioenergetics: The analysis of some sport activities. In: H. Matsui, K. Kobayashi (Eds), *Biomechanics VIII-B*. Human Kinetics Publishers, Champaign, Illinois, pp. 703-722.
269. Saibene F., Minetti A.E. (2003) Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88(4-5): 297-316.
270. Sale D.G. (1987) Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 15: 95-151.
271. Saltin B., Nazar K., Costill D.L., Stein E., Jansson E., Essén B., Gollnick P.D. (1976) The nature of the training response; peripheral and central adaptations to one-legged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 96(3): 289-305.
272. Sanderson D.J. (1991) The influence of cadence and power output on the biomechanics of force application during steady-rate cycling in competitive and recreational cyclists. *J. Sports Sci.* 9: 191-203.
273. Sargeant A.J., Hoinville E., Young A. (1981a) Maximum leg force and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics* 20: 491-498.
274. Sargeant A.J., Hoinville E., Young A. (1981b) Maximum leg force and power output during short-term dynamic exercise. *J. Appl. Physiol* 51: 1175-1182.
275. Sargeant A.J., Dolan P., Young A. (1984) Optimal velocity for maximal short-term (anaerobic) power output in cycling. *Int. J. Sports Med.* 5: 124-125.
276. Sargeant A.J. (1994) Human power output and muscle fatigue. *Int. J. Sports Med.* 15: 116-121.
277. Sarre G., Lepers R., Maffiuletti N., Millet G., Martin A. (2003) Influence of cycling cadence on neuromuscular activity of the knee extensors in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.* 88(4-5): 476-479.
278. Sayers S.P., Harackiewicz D.V., Harman E.A., Frykman P.N., Rosenstein W. (1999) Cross-validation of three jump power equations. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31: 572-577.
279. Scudder G.N. (1980) Torque curves produced at the knee during isometric and isokinetic exercises. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 61: 69-73.
280. Seabury J.J., Adams W.C., Ramey M.R. (1977) Influence of pedalling rate and power output on energy expenditure during bicycle ergometry. *Ergonomics* 20(5): 491-498.
281. Sharp R.L., Costill D.L., Fink W.J., King D.S. (1986) Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int. J. Sports Med.* 7(1): 13-17.
282. Shealy M.J., Callister R., Dudley G.A., Fleck S.J. (1992) Human torque velocity adaptations to sprint, endurance, or combined modes of training. *Am. J. Sports Med.* 20(5): 581-586.
283. Sidossis L.S., Horowitz J.F., Coyle E.F. (1992) Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *Int. J. Sports Med.* 13: 407-411.
284. Signorile J.F., Carmel M.P., Czaja S.J., Asfour S.S., Morgan R.O., Khalil T.M., Ma F., Roos B.A. (2002) Differential increases in average isokinetic power by specific muscle groups of older women due to variations in training and testing. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* 57(10): M683-M690.
285. Simoneau J.A., Lortie G., Boulay M.R., Marcotte M., Thibault M.C., Bouchard C. (1986) Inheritance of human skeletal muscle and anaerobic capacity adaptation to high-intensity intermittent training. *Int. J. Sports Med.* 7(3): 167-171.

286. Simoneau J.A., Lortie G., Boulay M.R., Marcotte M., Thibault M.C., Bouchard C. (1987) Effects of two high-intensity intermittent training programs interspaced by detraining on human skeletal muscle and performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56(5): 516-521.
287. Simonescu K. (1976) Uwagi o zależności między objętością i intensywnością obciążeń we współczesnym treningu. *Sport Wyczynowy* 2: 65-68.
288. Sleivert G.G., Backus R.D., Wenger H.A. (1995) The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 1655-1665.
289. Smilios I., Sotiropoulos K., Pilianidis T., Avloniti A., Tokmakidis S.P. (2002) The effect of dropping height on the improvement of vertical jump with drop jump training. Koskolou M., Geladas N., Klissouras V. (Eds.) *Proceedings, 7<sup>th</sup> European College of Sport Science*, Athens, Greece, 24-28 July 2002. Published by Pashalidis Medical Publisher, Athens, Vol. 2: 997.
290. Sozański H. (1985) Dynamika obciążeń treningowych a poziom wyników. *Sport Wyczynowy* 10: 23-38.
291. Sozański H. (1986) *Zróżnicowanie rozwoju sportowego młodocianych zawodników w zależności od rodzaju treningu*. Z warsztatów Badawczych AWF, Warszawa.
292. Sozański H. (1992) *Kierunki optymalizacji obciążeń treningowych*. Wydawnictwo AWF, Warszawa, s. 1-319.
293. Sozański H. (Red.) (1999) *Podstawy teorii treningu sportowego*. Centralny Ośrodek Sportu, Warszawa.
294. Staniak Z. (1994) Informatyczny system do wspomagania testów wydolnościowych prowadzonych na cykloergometrach. *Trening* 1(21): 251-257.
295. Staniak Z., Karpilowski B., Nosarzewski Z. (1997) Metody analizy różnych typów wyskoków na platformie dynamometrycznej. *Biol. Sport* 14 (Suppl. 7): 133-138.
296. Stathis C.G.A., Febraio M.A., Carey M.F., Snow R.J. (1994) Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J. Appl. Physiol.* 76: 1802-1809.
297. Stone M.H., O'Bryant H.S., McRoy L., Coglianese R., Lehmkuhl M., Schilling B. (2003) Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J. Strength Cond. Res.* 17(1): 140-147.
298. Suzuki Y. (1979) Mechanical efficiency of fast- and slow-twitch muscle fibers in man during cycling. *J. Appl. Physiol.* 47(2): 263-267.
299. Swain D.P., Wilcox J.P. (1992) Assessing  $VO_{2max}$  in epidemiologic studies: modification of the Astrand-Rhyming test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 14: 335-338.
300. Swain D.P., Wright R.L. (1997) Prediction of  $VO_{2peak}$  from submaximal cycle ergometry using 50 versus 80 rpm. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29(2): 268-272.
301. Takaishi T., Yasuda Y., Moritani T. (1994) Neuromuscular fatigue during prolonged pedalling exercise at different pedalling rates. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69: 154-158.
302. Takaishi T., Yasuda Y., Ono T., Moritani T. (1996) Optimal pedalling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28: 1492-1497.
303. Takaishi T., Yamamoto T., Ono T., Ito T., Moritani T. (1998) Neuromuscular, metabolic, and kinetic adaptations for skilled pedaling performance in cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30(3): 442-449.
304. Thorstensson A., Sjödín B., Karlsson J. (1975) Enzyme activities and muscle strength after „sprint training” in man. *Acta Physiol. Scand.* 94(3): 313-318.
305. Thorstensson A., Hultén B., von Döbeln W., Karlsson J. (1976) Effect of strength training on enzyme activities and fibre characteristics in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 96: 392-398.
306. Thys H., Faraggiana T., Margaria R. (1972) Utilization of muscle elasticity in exercise. *J. Appl. Physiol.* 32(4): 491-494.
307. Tihanyi J., Apor P., Fekete G. (1982) Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 48: 331-343.
308. Tomlin D.L., Wenger H.A. (2001) The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 33(1): 1-11.
309. Trump M.E., Heigenhauser G.J.F., Putman C.T., Spriet L.L. (1996) Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. *J. Appl. Physiol.* 80: 1574-1580.
310. Trzaskoma Z., A. Wit, G. Bartosiewicz, E. Danielewicz, Gajewski J. (1992) Investigation of an experimental weight-training programme. *J. Sports Sci.* 10: 109-117.

311. Trzaskoma Z. (1994) Wykorzystanie trenera wahadłowego w zwiększaniu możliwości siłowo-szybkościowych mięśni kończyn dolnych człowieka. (Rozprawa habilitacyjna). *Biol. Sport* 11 (Suppl. 6): 1-119.
312. Trzaskoma Z. (1998) Zależność między wskaźnikiem siły "zginacze : prostowniki" kończyn dolnych i tułowia a mocą maksymalną. *Biol. Sport* 15, Suppl. 8:154-160.
313. Trzaskoma Z., Trzaskoma Ł. (2001) Proporcje między maksymalnymi momentami sił głównych grup mięśni u sportowców. *Acta Bioeng. Biomech.* 3, suppl. 2: 601-606.
314. Trzaskoma Z. (2003) *Maksymalna siła mięśniowa i moc maksymalna kobiet i mężczyzn uprawiających sport wyczynowo. Studia i Monografie nr 94*, Wydawnictwo AWF, Warszawa, s. 1-174.
315. Ulatowski T. (1979) *Teoria i metodyka sportu*. Warszawa, AWF
316. Urbanik C., Buško K., Grudniak K., Mastalerz A. (1994) Związek między statycznym momentem sił i mocą odbicia kończyn dolnych. *Biomechanika 94, XII Szkoła Biomechaniki*, Wrocław-Szklarska Poręba, 20-23.10.1994, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, s. 309-311.
317. Urbanik C. (1995) *Wpływ składowych obciążenia treningowego na przyrost cech fizycznych kończyn dolnych. Studia i Monografie*, Akademia Wychowania Fizycznego, Warszawa, s. 1-113.
318. van Ingen Schenau G.J., Boots P.J.M., de Groot G., Snackers R.J., van Woensel W.W.L.M. (1992) The constrained control of force and position in multi-joint movements. *Neuroscience* 46(1): 197-207.
319. van Ingen Schenau G.J., Dorssers W.M., Welter T.G., Beelen A., de Groot G., Jacobs R. (1995) The control of mono-articular muscles in multijoint leg extensions in man. *J. Physiol. (London)* 484: 247-254.
320. Vandewalle H., Peres G., Heller J., Monod H. (1985) All out anaerobic capacity tests on cycle ergometers. A comparative study on men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 54: 222-229.
321. Vandewalle H., Peres G., Heller J., Panel J., Monod H. (1987) Force-velocity relationship and maximal power on a cycle-ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56: 650-656.
322. Vanrenterghem J., Lees A., Lenoir M., Aerts P., De Clercq D. (2004) Performing the vertical jump: movement adaptations for submaximal jumping. *Hum. Mov. Sci.* 22(6): 713-727.
323. Watt K.K., Hopkins W.G., Snow R.J. (2002) Reliability of performance in repeated sprint cycling tests. *J. Sci. Med. Sport* 5(4): 354-361.
324. Ważny Z. (1977) *Trening siły mięśniowej*. Warszawa. Sport i Turystyka.
325. Ważny Z. (1982) Struktura obciążenia treningowego oraz metody jej rejestracji i analizy, *Zeszyty Naukowe AWF we Wrocławiu*, 27: 71-99.
326. Ważny Z. (1989) Ewolucja metodyki treningu. *Trening* 1: 15-30.
327. Ważny Z. (1997) Rozważania na temat metod analizy obciążeń treningowych. *Sport Wyczynowy* 3-4: 10-20.
328. Weissland T., Marais G., Pelayo P. (1999) Relationship in humans between spontaneously chosen crank rate and power output during upper body exercise at different levels of intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.* 79: 230-236.
329. Wilmore J.H., Parr R.B., Girandola R.N., Ward P., Vodak P.A., Barstow T.J., Pipes T.V., Romero G.T., Leslie P. (1978) Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 10(2): 79-84.
330. Wilson G.J., Newton R.U., Murphy A.J., Humphries B.J. (1993) The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25(11): 1279-1286.
331. Winter D.A. (1979) A new definition of mechanical work done in human movement. *J. Appl. Physiol.* 46(1): 79-83.
332. Wit A., Dąbrowska A., Elias J., Gajewski J., Janiak J., Jaszczuk J., Trzaskoma Z. (1995) The flexors-to-extensors ratios of isometric muscle torques in elite athletes. In K. Häkkinen, K.L. Keskinen, P.V. Komi, A. Mero (Eds) *XVth Congress of the International Society of Biomechanics*, Book of Abstracts, pp. 998-999.
333. Withers R.T., Sherman W.M., Clarc D.G., Esselbach P.C., Nolan S.R., Mackay M.H., Brinkman M. (1991) Muscle metabolism during 30, 60, 90 s of maximal cycling on air-braked ergometer. *Eur. J. Appl. Physiol.* 63: 354-362.
334. Wojcieszak I., Burke E., Michael E., Puchow M. (1981a) Fizjologiczne i mechaniczne aspekty wysiłków anaerobowych o różnym czasie trwania. *Wychow. Fiz. Sport* 3: 3-13.

335. Wojcieszak I., Puchow M., Zdanowicz R., Mickiewicz G., Bucka J., Michael E., Burke E. (1981b) Maximum power and mechanical efficiency in anaerobic exercises. In: Morecki A., Fidelus K., Kędzior K., Wit A. (Eds). *Biomechanics VII-B*, PWN Warszawa, University Park Press, Baltimore, pp. 363-379.
336. Wojcieszak I. (1985) *Wydolnościowe testy specjalne – wdrożenia. Poradnik dla trenera, zeszyt nr 7*, Instytut Sportu, Warszawa
337. Wołkow N.I. (Red.) (1995) *Teoria i praktyka interwałowej trenirowki w sporcie*. WOLORSAD, Moskwa.
338. Woolford S.M., Withers R.T., Craig N.P., Bourdon P.C., Stanef T., McKenzie I. (1999) Effect of pedal cadence on the accumulated oxygen deficit, maximal aerobic power and blood lactate transition thresholds of high-performance junior endurance cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 80: 285-291.
339. Wychowański M., Buśko K., Wojtaś H., Nosarzewski Z., Musiał W., Staniak Z. (1988) The selection of a position for the measurement of an ankle joint muscle torques. *Biol. Sport* 5(4): 315-321.
340. Zaciorski W.M. (1971) *Kształtowanie cech motorycznych sportowca*. Sport i Turystyka, Warszawa.
341. Zalewski J., Zalewska K., Cylka D., Jaskólski A., Jaskólska A., Kowalczykowski A., Krawczak J. (1994) Zależność między siłą a prędkością ruchu podczas pracy kończynami górnymi lub dolnymi. *Wychow. Fiz. Sport* 1: 43-51.
342. Zdanowicz R., Wojczuk J. (1984) Wydolność beztlenowa zawodników i zawodniczek judo. *Sport Wyczerpowany* 12: 29-36.
343. Żołądź J.A., Duda K., Majerczak J. (1998)  $\dot{V}_{O_2}$ /power output relationship and the slow component of oxygen uptake kinetics during cycling at different pedaling rates: relationship to venous lactate accumulation and blood acid-base balance. *Physiol. Res.* 47(6): 427-438.
344. Żołądź J.A. (1999) Power output, mechanical efficiency and fatigue in human skeletal muscles. *Studia i Monografie* 8, Kraków, s. 5-101.
345. Żołądź J.A., Rademaker A.C., Sargeant A.J. (2000) Human muscle power generating capability during cycling at different pedaling rates. *Exp. Physiol.* 85(1): 117-124.
346. Żołądź J.A., Duda K., Majerczak J., Thor P. (2002) Effect of different cycling frequencies during incremental exercise on the venous plasma potassium concentration in humans. *Physiol. Res.* 51(6): 581-586.

## 5. Wykaz skrótów

- $\Delta$  – delta; przyrost,  
 21,122 – równoważnik energetyczny 1 litra tlenu,  
 ATP – kwas adenozynotrójfosforowy (adenosine triphosphate),  
 BM – masa ciała (body mass),  
 BW – ciężar ciała (body weight),  
 CC – kurczący komponent (contractile component),  
 CK – kinaza kreatynowa (creatine kinase),  
 cm – centymetr,  
 CM – ciężar maksymalny (1 CM),  
 CMJ – wyskok pionowy z miejsca z pozycji wyprostowanej poprzedzony ruchem ciała w dół (counter movement jump),  
 CO<sub>2</sub> – dwutlenek węgla,  
 CR-S – cykl rozciągnięcie-skurcz (S-SC – stretch-shortening cycle),  
 CS – syntaza cytrynianowa (citrate synthase),  
 DE – współczynnik sprawności „delta efficiency”,  
 DJ – wyskok pionowy poprzedzony zeskokiem z określonej wysokości (drop jump), indeks wskazuje wysokość zeskoku np. DJ<sub>50</sub> – wyskok pionowy poprzedzony zeskokiem z wysokości 50 cm,  
 E<sub>c</sub> – energia całkowita brutto,  
 E<sub>cnet</sub> – energia całkowita netto,  
 E<sub>c-v<sub>m</sub></sub> – zależność energia całkowita brutto-prędkość średnia,  
 F – wypadkowa sił działająca na punkt materialny,  
 FI – indeks zmęczenia,  
 F<sub>m</sub> – siła mięśniowa,  
 FT – włókna mięśniowe szybko kurczliwe (fast twitch fibres),  
 FTa – włókna mięśniowe szybko kurczliwe typu a (fast twitch fibres-a),  
 FTb – włókna mięśniowe szybko kurczliwe typu b (fast twitch fibres-b),  
 F-v – zależność siła-prędkość,  
 F<sub>z</sub> – siła zewnętrzna,  
 g – przyspieszenie ziemskie,

- GE – sprawność mechaniczna brutto (gross efficiency),  
H – położenie pionowe punktu materialnego,  
h – wysokość uniesienia środka masy ciała,  
HADH – dehydrogenaza 3 hydroksyacylo koenzym A (3-hydroxyacyl CoA dehydrogenase),  
 $h_{CMJ}$  – wysokości uniesienia środka masy ciała w wysoku CMJ,  
HK – heksokinaza (heksokinase),  
 $HR_{max}$  – maksymalna częstość skurczów serca na minutę,  
 $h_{SJ}$  – wysokości uniesienia środka masy ciała w wysoku SJ,  
i – wartość obciążenia zawieszonoego na szalce cykloergometru,  
J – jul,  $1 J = 1 N \cdot m$   
k – obniżenie wysokości uniesienia środka masy ciała,  
kg – kilogram,  
kJ – kilo jul, (1000 juli),  
l – litr,  
LA – kwas mlekowy,  
LDH – dehydrogenaza mleczanowa (lactate dehydrogenase),  
m – masa punktu materialnego,  
 $m_o$  – masa obciążników na szalce ergometru,  
m – metr  
M10 – grupa badanych realizujących trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem 10% BW,  
M5 – grupa badanych realizujących trening złożony z wysiłków maksymalnych z obciążeniem 5% BW,  
min – minuta,  
 $M_m$  – moment sił mięśniowych,  
mmol – milimol,  
 $M_z$  – moment sił zewnętrznych,  
n – liczba badanych,  
N – niuton,  $1 N = 1 kg \cdot m \cdot s^{-2}$   
NE – sprawność mechaniczna netto (netto efficiency),  
 $O_2$  – tlen,  
P – moc,  
PB – moment sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym,  
PCr – fosfokreatyna (phosphocreatine),  
PEC – równoległy komponent elastyczny (parallel elastic component),  
PFK – fosfofruktokinaza (phosphofructokinase),  
pH – ujemny logarytm ze stężenia jonów wodorowych,  $-\log 1 ([H^+])$ ,  
 $P_i$  – największą moc w danej próbie, gdzie i – wartość obciążenia,  
 $P_i-v_i$  – zależność moc-prędkość pedałowania,  
PK – moment sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym,  
 $P_m$  – moc średnia,

- $P_{mo}$  – moc średnia obrotu,  
 $P_{m10}$  – moc średnia obliczona z pierwszych 10 sekund przebiegu mocy rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,  
 $P_{m20}$  – moc średnia obliczona w pozostałych 20 sekundach przebiegu mocy rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,  
 $P_{max}$  – moc maksymalna,  
 $P_{max30}$  – moc maksymalna rozwijana w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,  
 $P_{maxCMJ}$  – moc maksymalna rozwijana w wyskoku CMJ,  
 $P_{maxSJ}$  – moc maksymalna rozwijana w wyskoku SJ,  
 $P_{m30}$  – moc średnia rozwijana w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,  
 $P_{mCMJ}$  – moc średnia rozwijana w wyskoku CMJ,  
 $P_{mSJ}$  – moc średnia rozwijana w wyskoku SJ,  
 $P_m-v_m$  – zależność moc średnia-prędkość średnia,  
 $P-v$  – zależność moc-prędkość,  
 $Q$  – ciężar ciała,  
 $r$  – współczynnik korelacji,  
 $R$  – składowa pionowa siły reakcji platformy dynamometrycznej,  
 $R^2$  – współczynnik determinacji,  
rad – radian, 1 rad =  $360^\circ/2\pi$ ,  
 $r_m$  – ramię siły mięśniowej,  
 $r_z$  – ramię siły zewnętrznej,  
 $s$  – sekunda,  
 $S$  – stała ergometru,  
SD – standardowe odchylenie,  
SEC – seria elastycznych komponentów (series elastic component),  
SJ – wyskok pionowy z miejsca z półprzysiadu nie poprzedzony zamachem (squat jump),  
SP – wartość spoczynkowa,  
ST – włókna mięśniowe wolnokurczliwe (slow twitch fibres),  
SUMA – suma momentów sił 5 zespołów mięśniowych,  
 $t$  – czas,  
 $t_o$  – czas trwania obrotu koła,  
 $t_p$  – czas przerwy między wysiłkami,  
tyg – tydzień,  
 $t_w$  – czas trwania wysiłku,  
 $V$  – prędkość średnia obrotu koła,  
 $v$  – prędkość punktu materialnego,  
 $v_e$  – prędkość (częstość pedałowania) ekonomiczna,  
 $V_E$  – wentylacja minutowa płuc,  
 $v_i$  – prędkość (częstość pedałowania), przy której uzyskano największą moc w danej próbie,  
 $v_m$  – prędkość średnia,  
 $v_o$  – prędkość (częstość pedałowania) optymalna,



$V_{O_2}$  – minutowe pobieranie tlenu,

$V_{O_2max}$  – maksymalne pobieranie tlenu,

$V_{O_2min}$  – najmniejsze pobieranie tlenu,

$V_{O_2net}$  – minutowe pochłanianie tlenu netto,

W – wat,  $1W = 1 J \cdot s^{-1}$

W45 – grupa badanych realizująca trening 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania 45 obrotów/min,

W80 – grupa badanych realizująca trening 3-minutowymi wysiłkami o stałej mocy 250 W i częstości pedałowania 80 obrotów/min,

WE – współczynnik sprawności „work efficiency”,

$W_m$  – praca mechaniczna,

$W_o$  – praca jednego obrotu,

WZP<sub>B</sub> – wskaźnik „zginacze-prostowniki” w stawie biodrowym,

WZP<sub>K</sub> – wskaźnik „zginacze-prostowniki” w stawie kolanowym,

ZB – moment sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym,

ZK – moment sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie kolanowym,

ZPS – moment sił mięśniowych mięśni zginających podeszwowo stopę.

## 6. Streszczenie

Celem pracy była ocena skuteczności treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi i submaksymalnymi o zmiennych składowych obciążeniach treningowego. W ocenie uwzględniono wartość wykonywanej pracy (objętość), generowaną moc (intensywność) oraz jej składowe, tj. siłę i prędkość. Porównano skuteczności treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi z treningami złożonymi z wysiłków submaksymalnych o stałej mocy 250 W.

Praktycznym celem pracy było wskazanie rodzaju wysiłków i rozwiązań metodycznych umożliwiających sterowanie efektami treningu mającego na celu zwiększania siły i mocy mięśni kończyn dolnych.

Z uwagi na złożoność zagadnienia pracę podzielono na dwie części uwzględniając teoretyczną i praktyczną stronę zagadnienia.

Celem I części pracy było: określenie wpływu częstości pedałowania na sprawność mechaniczną brutto i netto w wysiłkach maksymalnych i w wysiłkach submaksymalnych o stałej mocy 250 W, obliczenie prędkości optymalnej w wysiłkach maksymalnych i prędkości ekonomicznej w wysiłkach submaksymalnych, oraz dobór poszczególnych wysiłków (ćwiczeń) do treningów w II części badań na podstawie otrzymanych wyników.

W teście złożonym z wysiłków submaksymalnych każdy z 12 badanych wykonał czterokrotnie, w odstępie 7 dni, 3 minutowy wysiłek na cykloergometrze firmy Monark E 824 połączonym z komputerem. Moc wysiłku wynosiła 250 W a ilość wykonanej pracy mechanicznej 45 kJ. W kolejnych wysiłkach częstość pedałowania wynosiła 40, 60, 80 i 100 obrotów/min.

W teście złożonym z wysiłków maksymalnych każdy z 13 badanych wykonał 30-sekundowy wysiłek maksymalny na cykloergometrze Monark z obciążeniem 7,5% ciężaru ciała (BW). Następnie każdy uczestnik, w odstępie, co najmniej 3 dni, wykonał 4 próby polegające na wykonaniu wysiłków maksymalnych na cykloergometrze z obciążeniem 2,5, 5, 10 i 12,5% BW. Koniec próby następował w momencie wykonania pracy równej z 30-sekundowego wysiłku z obciążeniem 7,5% BW. Korzystając z programu „MCE” we wszystkich wysiłkach maksymalnych i submaksymalnych dokonano pomiaru i obliczeń wielkości wykonanej pracy

mechanicznej, mocy średniej, czasu trwania wysiłku i największej mocy w danej próbie. Z otrzymanych w wysiłkach maksymalnych wyników, dla każdego badanego wyznaczono zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ) w celu określenia indywidualnej mocy maksymalnej ( $P_{\max}$ ) i prędkości optymalnej ( $v_o$  – częstość pedałowania, przy której rozwijano  $P_{\max}$ ).

W celu określenia zużycia tlenu podczas wykonywania wysiłków submaksymalnych i maksymalnych na cykloergometrze oraz w fazie odpoczynku (do powrotu  $V_E$  do wartości spoczynkowej) użyto analizatora gazów firmy SensorMedics z pakietem oprogramowania 2900/2900c Metabolic Measurements Cart/System.

Sprawność mechaniczną brutto (GE) obliczono jako stosunek pracy mechanicznej do energii całkowitej brutto, a sprawność mechaniczną netto (NE) jako stosunek pracy mechanicznej do energii całkowitej netto (wartość energii całkowitej brutto pomniejszona o wartość energii w spoczynku).

Średnie wartości ( $\pm$ SD) sprawności mechanicznej brutto w wysiłkach submaksymalnych dla częstości pedałowania 40, 60, 80 i 100 obrotów/min wyniosły kolejno (dla  $n = 12$ )  $15,0 \pm 2,2$ ,  $14,9 \pm 2,6$ ,  $15,3 \pm 2,1$  i  $12,3 \pm 1,5\%$ , a sprawności netto  $21,8 \pm 2,8$ ,  $22,6 \pm 2,1$ ,  $23,1 \pm 2,1$  i  $19,0 \pm 2,7\%$ . Wartości sprawności mechanicznej brutto i netto uzyskane przy 100 obrotach/min różniły się istotnie od średnich otrzymanych przy 40, 60 i 80 obrotach/min. Średnia wartość ekonomicznej częstości pedałowania obliczona dla: netto  $VO_2$  wyniosła  $v_{eVO_2net} = 61,7 \pm 17,6$  obrotów/min z towarzyszącym jej średnim zużyciem tlenu  $VO_{2min} = 31,29 \pm 3,03$  ml·mn<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> a NE  $v_{eNE} = 64,6 \pm 13,2$  obrotów/min z obliczonym średnim NE =  $23,6 \pm 2,3\%$ .

Podczas maksymalnych wysiłków wykonywanych na cykloergometrze wraz ze zwiększaniem obciążenia z 2,5 do 12,5% BW średnia częstość pedałowania zmalała z 151,5 obrotów/min do 78,0 obrotów/min., a moc średnia rozwijana w ćwiczeniu wzrastała z 293,5 W do 761,0 W. Średnie wartości ( $\pm$ SD) sprawności mechanicznej netto w wysiłkach maksymalnych (dla  $n = 13$ ) wyniosły kolejno  $12,2 \pm 2,2$ ,  $16,2 \pm 3,0$ ,  $18,1 \pm 3,1$ ,  $18,8 \pm 4,2$  i  $19,0 \pm 1,9\%$ . Moce różniły się między poszczególnymi próbami z wyjątkiem wartości uzyskanych przy obciążeniu 10% i 12,5% BW. Średnie wartości sprawności mechanicznej brutto uzyskane przy obciążeniu 2,5% BW różniły się istotnie w stosunku do wartości uzyskanych w wysiłkach z obciążeniem 5, 7,5, 10 i 12,5% BW. Sprawność mechaniczna w próbach z obciążeniem 5, 7,5%, 10, 12,5% kg masy ciała nie różniła się istotnie. Obliczona z indywidualnych zależności  $P-v$  wartość mocy maksymalnej ( $P_{\max}$ ) wyniosła  $1050,6 \pm 164,1$  W ( $12,98 \pm 2,13$  W/kg) przy częstości optymalnej  $v_o = 107,6 \pm 11,2$  obrotów/min. Z opisanych wielomianami drugiego stopnia indywidualnych zależności  $P_m-v_m$  i  $E_c-v_m$  otrzymanych w wysiłkach maksymalnych o tej samej wielkości wykonanej pracy obliczono średnią, optymalną częstość pedałowania ( $90,0 \pm 5,8$  obrotów/min), przy której rozwinięto największą moc średnią ( $P_m = 768,3 \pm 83,6$  W) i „ekonomiczną częstość pedałowania” wynoszącą  $87,9 \pm 16,1$  obrotów/min, przy której wystąpiło najmniejsze zużycie całkowitej

energii brutto ( $E_c = 228,5 \pm 55,4$  kJ). Obie obliczone częstości pedałowania nie różniły się istotnie.

Wyniki badań wykazały, że w wysiłkach równoważnych o stałej mocy 250 W występuje ekonomiczna częstość pedałowania wynosząca 61,7 obrotów/min a w wysiłkach maksymalnych badani rozwijali moc maksymalną przy prędkości optymalnej 107,6 obrotów/min. Jako ćwiczenia treningowe wybrano wysiłki maksymalne wykonywane z obciążeniem 5 i 10% BW i wysiłki o stałej mocy 250 W wykonywane z częstością pedałowania 40 i 80 obrotów/min. Wysiłki maksymalne różniły się istotnie rozwijaną mocą i częstością pedałowania, a nie różniły kosztem energetycznym i sprawnością mechaniczną. Wysiłki o stałej mocy 250 W różniły się istotnie częstością pedałowania a nie różniły  $V_{O_{2net}}$  i sprawnością mechaniczną.

Celem II części pracy było określenie wpływu treningów realizowanych na cykloergometrze wysiłkami maksymalnymi różniącymi się intensywnością (częstością pedałowania) i wysiłkami równoważnymi o stałej mocy 250 W i różnej częstości pedałowania na zmiany momentów sił mięśniowych, mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ (counter movement jump) i SJ (squat jump) na platformie dynamometrycznej, mocy maksymalnej i średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym, powysiłkowych maksymalnych stężeń kwasu mlekowego we krwi kapilarnej, charakterystyk siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ), mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności moc-prędkość. Porównano skuteczności treningów złożonych z wysiłków maksymalnych z treningami realizowanymi wysiłkami submaksymalnymi o stałej mocy 250 W.

W badaniach udział wzięło 48 nietreningujących wyczynowo studentów Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, których podzielono na 4 grupy wykonujące trening na cykloergometrze. Trening obejmował pięć wysiłków przerywanych przedzielonych dwu minutową przerwą: grupa M10 – maksymalne wysiłki wykonywane z obciążeniem 10% (BW), grupa M5 – maksymalne wysiłki wykonywane z obciążeniem 5% BW, grupa W80 – 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W, praca pojedynczego wysiłku 45 kJ, częstość pedałowania 80 obrotów/min, grupa W45 – 3-minutowe wysiłki o stałej mocy 250 W, praca pojedynczego wysiłku 45 kJ, częstość pedałowania 45 obrotów/min. W każdy poniedziałek, przed rozpoczęciem treningów (0), przez cztery tygodnie treningów (1-4) i dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (5-6), wykonywano pomiary kontrolne:

- maksymalnych momentów sił mięśniowych,
- mocy kończyn dolnych i wysokości uniesienia środka masy ciała mierzonych w wyskokach CMJ i SJ (SJ tylko grupy M10 i M5) na platformie dynamometrycznej,
- mocy maksymalnej i mocy średniej rozwijanej w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym,
- charakterystyk siła-prędkość i moc-prędkość mięśni kończyn dolnych.

Oznaczeń powysiłkowych maksymalnych stężeń kwasu mlekowego we krwi kapilarnej (LA) dokonano po teście Wingate w poniedziałek przed rozpoczęciem treningów (0), po dwóch (2) i czterech tygodniach treningu (4) i w dwa tygodnie po zaprzestaniu treningów (6). Dodatkowo zmierzono stężenie kwasu mlekowego przed rozpoczęciem 16 treningu i po jego zakończeniu we wszystkich grupach.

Czterotygodniowy trening na cykloergometrze realizowany wysiłkami maksymalnymi spowodował przyrosty wartości momentów sił mięśni zginających i prostujących kończynę w stawie biodrowym w grupach M10 i M5, prostujących w stawie kolanowym w M5 i zginających podeszwowo stopę M10. Trening złożony z wysiłków o stałej mocy 250 W wywołał wzrost wartości momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym w grupach W80 i W45, prostowników stawu kolanowego i zginaczy podeszwowych stopy w W45 oraz obniżenie wartości momentów sił mięśniowych mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym w W80 i W45. Istotny wzrost sumy momentów sił badanych 5 zespołów mięśni obserwowano jedynie po treningu z użyciem wysiłków maksymalnych. Istotne różnice między treningami złożonymi z wysiłków maksymalnych i realizowanymi wysiłkami o stałej mocy 250 W otrzymano dla mięśni zginaczy stawu biodrowego i sumy momentów sił 5 zespołów mięśniowych. Trening o stałej mocy 250 W spowodował istotne obniżenie wartości wskaźnika zginacze-prostowniki dla stawu biodrowego w grupach W80 i W45 oraz dla stawu kolanowego w grupie W45.

Po czterotygodniowym treningu na cykloergometrze we wszystkich grupach obserwowano istotne przyrosty mocy maksymalnej rozwijanej w wyskokach CMJ i SJ liczone względem pomiaru przed rozpoczęciem badań (z wyjątkiem W45 – zmiany nieistotne) i mocy średniej (M10 i W45 zmiany nieistotne) oraz obniżenie wysokości uniesienia środka masy ciała ( $h_{CMJ}$ ) w wyskoku CMJ, istotne w grupach W45 (-4,7%) i W80 (-4,7%) oraz nieistotne w M10 (-3,4%). W grupie M5 zanotowano nieistotny wzrost  $h_{CMJ}$  o 2,1%. W grupie M10 i M5 obserwowano nieistotny wzrost mocy maksymalnej i średniej w wyskoku SJ pod wpływem treningu. Obniżenie wysokości uniesienia środka masy w wyskoku SJ pod wpływem treningu były nieistotne w obu grupach.

Rozwijana w 30-sekundowym wysiłku maksymalnym moc maksymalna ( $P_{max30}$ ) wzrosła nieistotnie o 1,5% w grupie M10 i 3,9% w M5 w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningów. W przypadku mocy średniej największe istotne zmiany obserwowano w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningów (M10 o 6,5%, M5 o 11,0%). Nie znaleziono istotnych różnic między grupami. Moc maksymalna wzrosła nieistotnie o 1,2% w grupie W80 i o 2,6% w W45 a moc średnia wzrosła istotnie o 6,1% w grupie W80 w drugim tygodniu po zaprzestaniu treningów i 7,2% w W45 w pierwszym tygodniu po zaprzestaniu treningów. Średnie wartości indywidualnego piku stężenia LA (największa wartość stężenia LA występująca po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym dla każdego badanego)

uległa istotnej zmianie w grupie M10 z  $15,23 \pm 2,37$  mmol/l w pomiarze sprzed rozpoczęcia treningów do  $12,34 \pm 2,35$  mmol/l w pomiarze wykonanym dwa tygodnie po zakończeniu treningów. W grupie M5 istotne różnice obserwowano między pikiem LA sprzed rozpoczęcia treningów ( $15,11 \pm 1,74$  mmol/l) a pikiem LA po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym wykonanym po czterech tygodniach treningów ( $13,49 \pm 2,10$  mmol/l). Średnie wartości indywidualnego pikę stężenia LA (największa wartość stężenia LA występująca po 30-sekundowym wysiłku maksymalnym dla każdego badanego) uległy istotnej zmianie w grupie W80 z  $15,49 \pm 1,45$  mmol/l w pomiarze sprzed rozpoczęcia treningów do  $13,73 \pm 2,60$  mmol/l w pomiarze wykonanym po 4 tygodniach treningów a w grupie W45 z  $15,06 \pm 1,50$  mmol/l do  $13,84 \pm 2,19$  mmol/l.

Z otrzymanych w 10-sekundowych wysiłkach maksymalnych wyników, dla każdego badanego wyznaczono zależność siła-prędkość ( $F-v$ ) i moc-prędkość ( $P-v$ ) w celu określenia indywidualnej mocy maksymalnej ( $P_{max}$ ) i prędkości optymalnej ( $v_o$  – częstość pedałowania, przy której rozwijano  $P_{max}$ ). Średnie wartości współczynników kierunkowych równania prostej regresji zależności  $F-v$  uzyskanych we wszystkich grupach po 4 tygodniach treningów i po 1 i 2 tygodniu od zakończenia treningów różniły się istotnie względem współczynników uzyskanych w pomiarach przed rozpoczęciem badań. Współczynniki kierunkowych prostej regresji zależności  $F-v$  różniły się istotnie między grupami M10 i M5 a W80 i W45 po 1 tygodniu od zakończenia treningów oraz między M5 a W80 i W45 po 2 tygodniu od zakończenia treningów. Największy wzrost mocy mierzonej w charakterystykach  $F-v$  obserwowano w grupach M5 i M10 po pierwszym tygodniu od zakończenia treningów, a w grupach W45 i W80 bezpośrednio po 4 tygodniach treningu. Największe potreningowe zmiany mocy rejestrowanej podczas wyznaczania charakterystyk  $F-v$  obserwowano przy obciążeniu 2,5, 5, 7,5 i 10% BW w grupie M5 i 5, 7,5, 10 i 12,5% BW w M10, a w grupach W45 i W80 przy obciążeniu 10 i 12,5% BW. W przypadku mocy maksymalnej obliczanej z indywidualnych zależności  $P-v$  wszystkie cztery rodzaje treningów spowodowały podobny wzrost mocy maksymalnej o 5,9% ( $p < 0,05$ , W80, W45, M5) i 6,9% ( $p < 0,05$ , M10).

Podsumowując, czterotygodniowy trening na cykloergometrze, niezależnie od zastosowanych ćwiczeń, spowodował zbliżone zmiany momentów sił mięśniowych mięśni prostujących kończynę w stawie biodrowym we wszystkich grupach. Treningi realizowane wysiłkami maksymalnymi wywołały wzrost wartości momentów sił mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym, podczas gdy po treningach wysiłkami o stałej mocy 250 W obserwowano istotny spadek momentów sił. Treningi wysiłkami maksymalnymi z obciążeniem 10% BW i wysiłkami o stałej mocy 250 W wykonywanymi z częstością pedałowania 45 obrotów/min spowodowały zwiększenie wartości rozwijanych momentów sił mięśniowych mięśni zginaczy podeszwowych stopy. Istotne różnice między treningami maksymalnymi i o stałej mocy 250 W otrzymano dla mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym

i sumy momentów sił 5 zespołów mięśniowych. Trening na cykloergometrze spowodował, że we wszystkich grupach wysokość uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ uległa obniżeniu w porównaniu z pomiarami sprzed rozpoczęcia treningów z wyjątkiem grupy M5 – nieistotny wzrost w CMJ. Zmianom wysokości uniesienia środka masy ciała towarzyszyło istotne zwiększenie wartości rozwijanej mocy maksymalnej (M10, M5, W80) i mocy średniej (M5, W80) w wyskoku CMJ. W wyskoku SJ obserwowano nieistotne zmiany wszystkich mierzonych wielkości. Dla wszystkich analizowanych wielkości mierzonych w wyskokach CMJ i SJ obserwowane różnice między grupami były nieistotne, z wyjątkiem  $P_{\max\text{CMJ}}/\text{BM}$  dla grup M10 vs. M5. Wszystkie programy treningowe poprawiały moc średnią rozwijaną w 30-s wysiłkach maksymalnych, moc maksymalną obliczaną z indywidualnych charakterystyk  $P-v$  oraz zmieniały przebiegi krzywych zależności  $F-v$  przesuwając je w górę w kierunku wyższych wartości. W treningu realizowanym równoważnymi wysiłkami o stałej mocy 250 W zmiana rytmu pedałowania spowodowała różnice tylko w procentowych przyrostach momentach sił mięśni prostujących kończynę w stawie kolanowym. Porównanie efektów treningów realizowanych wysiłkami maksymalnymi z treningami złożonymi z wysiłków submaksymalnych o mocy 250 W wykazało, że intensywność treningów przerywanych nie wpływa istotnie na: maksymalne momenty sił mięśniowych (z wyjątkiem momentów sił mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym), moc maksymalną i moc średnią rozwijaną w wyskokach CMJ, wydolność anaerobową, powysiłkowe stężenie kwasu mlekowego i potreningowy rozwój mocy maksymalnej obliczanej z charakterystyk  $P-v$ . Intensywność treningów przerywanych wpływała na: maksymalne momenty sił mięśni zginających kończynę w stawie biodrowym, wartości współczynników kierunkowych prostej zależności siła-prędkość oraz moce rozwijane w 10-s wysiłkach z obciążeniem 2,5% i 5,0% BW. Za zaskakujące należy uznać obniżenie skoczności, mierzonej wysokością uniesienia środka masy ciała w wyskokach CMJ i SJ, mimo wzrostu mocy maksymalnej i średniej rozwijanej w tych wyskokach oraz zwiększenia mocy maksymalnej obliczanej z zależności  $P-v$  i mocy średniej generowanej w 30-sekundowym teście wykonywanym na cykloergometrze.