

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

IM. BRONISŁAWA CZECHA

W KRAKOWIE



Szkoła Doktorska

ROZPRAWA DOKTORSKA

Aleksander Drwal

**Wpływ treningu beztlenowego (sprinterskiego lub siłowego) na zdolności
wytrzymałościowe u nietrenujących mężczyzn**

Promotor
prof. dr hab. Marcin Maciejczyk
Zakład Fizjologii i Biochemii
AWF Kraków

KRAKÓW 2024

Podziękowania dla najlepszego Promotora prof. dr hab. Marcina Maciejczyka za ogromne wsparcie, nieustanną pomoc, naukę, pokierowania w prawidłowych wyborach, a przede wszystkim cierpliwość w pisaniu niniejszej pracy doktorskiej. Dzięki Panu mogłem przejść przez kolejne wyzwanie życiowe i z odwagą poznawać świat nauki.

Dziękuję swoim rodzicom, teściowej, a przede wszystkim żonie, za wsparcie w trudnych chwilach.

Dziękuję wszystkim uczestnikom badania za udział w projekcie naukowym.

Dziękuję pracownikom oraz władzom uczelni AWF za to, że miałem zaszczyt uczęszczać do szkoły doktorskiej, kształcąc się wśród najlepszych.

Wykazy skrótów:

ANOVA – analiza wariancji

ATP – adenozynotrifosforan

1RM – jedno maksymalne powtórzenie

AIT – aerobowy trening interwałowy

BFM – masa tkanki tłuszczowej

BH – wysokość ciała

BM – masa ciała

BMI – wskaźnik masy ciała

CM – ciężar maksymalny

CON – grupa kontrolna

ES – wielkość efektu

ET – trening wytrzymałościowy

$F_{E}CO_2$ – odsetek dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym

$F_{E}O_2$ – odsetek tlenu w powietrzu wdychanym

FI – wskaźnik zmęczenia (spadku mocy)

HIIT – interwałowy trening wysokiej intensywności

HR – częstość skurczów serca

HR_{max} – maksymalna częstość skurczów serca

HVT – trening o wysokiej objętości

Ia – włókna mięśniowe wolnokurczliwe (typu I)

IIa – włókna mięśniowe szybko kurczliwe (typu IIa)

IIx – włókna mięśniowe szybko kurczliwe (typu IIx)

LBM – beztłuszczowa masa ciała

ML – masa obciążenia

MP – moc średnia

P – moc

PAR – siedmiodniowy kwestionariusz aktywności fizycznej

PBF – odsetek tkanki tłuszczowej

PCr - fosfokreatyna

P_{\max} – moc maksymalna

PP – moc szczytowa

RER – współczynnik oddechowy

RPE – subiektywne odczucie ciężkości pracy w skali Borga

SIT – sprinterski trening interwałowy

ST / RT – trening siłowy / trening oporowy

TBW – zawartość wody całkowitej

TM-PP – czas utrzymania mocy szczytowej

TTR-PP – czas osiągnięcia mocy szczytowej

TW – całkowita praca

VCO_2 – minutowa produkcja dwutlenku węgla

V_E – wentylacja minutowa płuc

V_E/VCO_2 – ekwiwalent oddechowy dla dwutlenku węgla

V_E/VO_2 – ekwiwalent oddechowy dla tlenu

VO_2 – minutowy pobór tlenu

$VO_{2\max}$ – maksymalny pobór tlenu

VO_{2peak} - szczytowy pobór tlenu

VO_2/HR – tętno tlenowe

VT I – pierwszy próg wentylacyjny

VT II – drugi próg wentylacyjny

WSS - wskaźnik szybkościowo-siłowy

Spis treści:

1. Wstęp.....	1
1.1. Podłoże energetyczne wysiłków fizycznych.....	4
1.2. Zdolności wytrzymałościowe.....	5
1.2.1. Wydolność tlenowa.....	5
1.2.2. Progi metaboliczne.....	6
1.2.3. Ekonomia pracy.....	8
1.3. Metody i efektywność aerobowego treningu wytrzymałościowego	8
1.3.1. Metody ciągłe.....	8
1.3.2. Metody interwałowe.....	9
1.3.3. Efektywność aerobowego treningu wytrzymałościowego.....	9
1.4. Metody i efektywność treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym.....	10
1.4.1. Trening HIIT i SIT.....	10
1.4.2. Trening siłowy.....	13
1.5. Cel pracy oraz pytania badawcze.....	14
2. Metodyka badań.....	16
2.1. Plan badań.....	16
2.2. Charakterystyka badanych.....	18
2.3. Analiza aktywności fizycznej.....	18
2.4. Analiza diety.....	19
2.5. Pomiary somatyczne.....	19
2.6. Testy wysiłkowe.....	19
2.6.1. Test Wingate.....	19

2.6.2. Test stopniowany.....	20
2.7. Charakterystyka treningów.....	21
2.7.1. Trening siłowy.....	21
2.7.2. Trening szybkościowy.....	27
2.7.3. Trening wytrzymałościowy.....	27
2.8. Analiza statystyczna.....	28
3. Wyniki badań.....	29
3.1. Analiza aktywności fizycznej uczestników badań	29
3.2. Analiza diety.....	31
3.3. Zmiany w masie i składzie ciała badanych mężczyzn po treningu.....	35
3.4. Zmiany wydolności beztlenowej pod wpływem treningów.....	38
3.5. Zmiany wydolności tlenowej pod wpływem treningów.....	44
3.6. Efekty treningów na progi wentylacyjne	48
4. Dyskusja.....	54
5. Wnioski.....	66
6. Bibliografia.....	67
Streszczenie.....	87
Abstract.....	90
Zgoda Komisji Bioetycznej.....	94
Spis rycin i tabel.....	95

1. Wstęp

Wyczynowy sport wymaga aktualnie specjalistycznego przygotowania kondycyjnego i motorycznego, tak by maksymalizować wyniki sportowe w krótkim okresie przygotowawczym, a następnie utrzymywać ich poziom jak najdłużej. Również w rekreacji oraz sporcie amatorskim poszukuje się atrakcyjnych form zajęć/treningu, tak aby zachęcić osoby prowadzące siedzący tryb życia do podjęcia aktywności fizycznej. Poprawa stanu zdrowia oraz istotne zwiększanie świadomości negatywnych skutków zdrowotnych, wynikających ze zwiększonego otluszczenia ciała, jest najczęstszą motywacją podjęcia aktywności fizycznej. W większości dyscyplin sportowych oraz w życiu codziennym, kluczowa jest wydolność tlenowa, czyli zdolność do wykonywania wysiłków długotrwałych o charakterze wytrzymałościowym. Tradycyjne metody ukierunkowane na poprawę wydolności tlenowej, to metody polegające na wykonywaniu długotrwałych wysiłków o charakterze ciągłym lub interwałowym, o niskiej lub umiarkowanej intensywności. Adaptacje fizjologiczne, które zachodzą w organizmie ludzkim pod wpływem treningu wytrzymałościowego są dobrze znane i obejmują: poprawę maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}), zwiększenie poziomu progu beztlenowego przesuwając go ku wyższej intensywności, i poprawę ekonomii pracy (Holoszy i wsp. 1984). Daussin i wsp. (2008) wykazali, że trening o submaksymalnej intensywności zwiększa objętość wyrzutową serca (SV) oraz maksymalną pojemność minutową serca (Q_{max}) i w konsekwencji VO_{2max} .

Z kolei z punktu widzenia sportu, poszukuje się metod treningowych, które byłyby najbardziej efektywne w poprawie wydolności fizycznej. Z powodu długotrwałego charakteru pojedynczego wysiłku, ta metoda często zniechęca osoby początkujące do podejmowania aktywności fizycznej. Krótszy, ale bardziej intensywny, trening szybkościowo-siłowy, w porównaniu do ciągłego i monotonnego treningu wytrzymałościowego, może stanowić świetną alternatywę dla dalszych treningów, zwiększając przy tym poziom motywacji i podnosząc wydolność fizyczną, które mogą przekładać się na lepsze wyniki sportowe w sportach o charakterze wytrzymałościowym i/lub stanu zdrowia osób ćwiczących rekreacyjnie. Wśród proponowanych metod treningu o wysokiej intensywności (a więc o podłożu beztlenowo-tlenowym lub beztlenowym) wymienia się najczęściej: interwałowy trening o wysokiej intensywności (*ang. high intensity interval training (HIIT)*), interwałowy trening sprinterski (*ang. sprint interval training (SIT)*) oraz trening siłowy (oporowy) (*ang. strength training (ST)*). Te metody treningu coraz częściej wykorzystywane są również do poprawy zdolności wytrzymałościowych organizmu (Burgomaster i wsp. 2008). W badaniach

przeprowadzonych przez Foster i wsp. (2015), wskazano, że trening interwałowy o wysokiej intensywności nie tylko zyskuje na swojej popularności, ale również ta forma ćwiczeń jest efektywna w poprawie zdolności wytrzymałościowych. W badaniu tym, oceniono skuteczność treningu o charakterze beztlenowo-tlenowym, przeprowadzonego w grupie 55 niewytrenowanych osób, którzy przez 8 tygodni, z częstotliwością 3x w tygodniu, wykonywali zaleconą aktywność fizyczną. Zaobserwowano, że trening o charakterze szybkościowo-interwałowym istotnie zwiększył poziom maksymalnego poboru tlenu o 18 %. Dodatkowo, wyniki uzyskane z testu Wingate wskazują na zwiększenie mocy szczytowej (PP) od 4 do 7 %. W innym badaniu Nicholas i wsp. (2013), potwierdzili, że SIT polegający na wykonywaniu 30 sekundowych wysiłków o supramaksymalnej intensywności (all-out) przez 6 tygodni poprawił zdolności antyoksydacyjne oraz VO_{2max} o 8 %. Protokół SIT, oparty na wysiłku podobnym jak w teście Wingate, wykorzystywany był również przez innych autorów (Babraj i wsp. 2009, Bailey i wsp. 2009, Bayati i wsp. 2011) i również wykazano poprawę zdolności wytrzymałościowych. Burgomaster i wsp. (2008) wykazali, że SIT poprawił wytrzymałość w podobny sposób, jak trening o niskiej lub średniej intensywności oraz długim czasie trwania. Trening o wysokiej intensywności i o charakterze interwałowym może wpływać korzystnie na poprawę wyników sportowych w porównaniu do tradycyjnego treningu wytrzymałościowego o umiarkowanej intensywności (Gist i wsp. 2014, Milanovic i wsp. 2015, Weston i wsp. 2014). Naves i wsp. (2018) wykazali, że SIT nie tylko poprawia VO_{2max} , ale prowadzi również do redukcji tkanki tłuszczowej i co więcej, obserwowane zmiany były podobne zarówno po SIT jak i po HIIT.

Wyniki dotychczasowych badań nie są jednak jednoznaczne. W badaniu przeprowadzonym przez Kim i wsp. (2011), autorzy wykazali, że trening o wysokiej intensywności nie wpływa na poprawę wydolności tlenowej wśród zawodników uprawiających judo. Co ciekawe, w tym badaniu wykazano równocześnie, że stężenie mleczanu we krwi po stopniowanym wysiłku było znacząco obniżone po 10 i 15 minutach regeneracji w grupie wykonujących trening SIT, niż w grupie kontrolnej. Interwałowy trening sprinterski wpływa na poprawę maksymalnego poboru tlenu wśród otyłych kobiet w porównaniu do grupy nietrenującej (Trilk i wsp. 2011). Natomiast wyniki uzyskane z testu stopniowanego nie wykazały różnicy pomiędzy HR_{max} oraz pojemnością minutową serca sugerując, że poprawa wydolności aerobowej nie jest efektem zmian zachodzących pod wpływem treningu w układzie krążeniowym. Również Psilander i wsp. (2015) wykazali, że połączenie treningu wytrzymałościowego z treningiem ST nie przekłada się na poprawę

wydolności aerobowej wśród kolarzy; w badaniu tym nie wykazano różnic pomiędzy treningiem wytrzymałościowym, a połączonym treningiem wytrzymałościowo-siłowym.

Trening siłowy może stanowić doskonały zamiennik lub uzupełnienie dla treningu wytrzymałościowego. Zdecydowaną zaletą takiej formy aktywności fizycznej jest jej różnorodność. Według badania przeprowadzonego przez Sporiš i wsp. (2011), 12-sto tygodniowy trening oporowy zwiększył VO_{2max} o 4,3 % i dodatkowo zanotowano zwiększenie wydolności anaerobowej o 2,7 %. Z kolei Vikmoen i wsp. (2016) dostrzegli, że przeprowadzony trening siłowy poprawił ekonomię pracy o 13 % wśród kobiet uprawiających kolarstwo. Hoff i wsp. (2002) dowiedli, że zastosowanie treningu siłowego o wysokiej intensywności wynoszącej 85 % 1RM (*ang. one repetition maximum*) u biegaczy narciarskich również poprawił ekonomię pracy aż o 20,5 %. Podobne wnioski wyciągnęli inni autorzy (Heggelund i wsp. 2013, Loveless i wsp. 2005, Østerås i wsp. 2002, Rønnestad i wsp. 2015, Støren i wsp. 2008, Sunde i wsp. 2010), którzy udowodnili, że trening ST efektywnie wpływa na zwiększenie wytrzymałości na skutek poprawy ekonomii pracy. Według Hu i wsp. (2008) trening ST wpływa na wskaźniki morfologiczne krwi, takie jak: średnia objętość krwinek czerwonych, hematokryt, oraz liczbę czerwonych krwinek, co może przełożyć się na poprawę zdolności wytrzymałościowych.

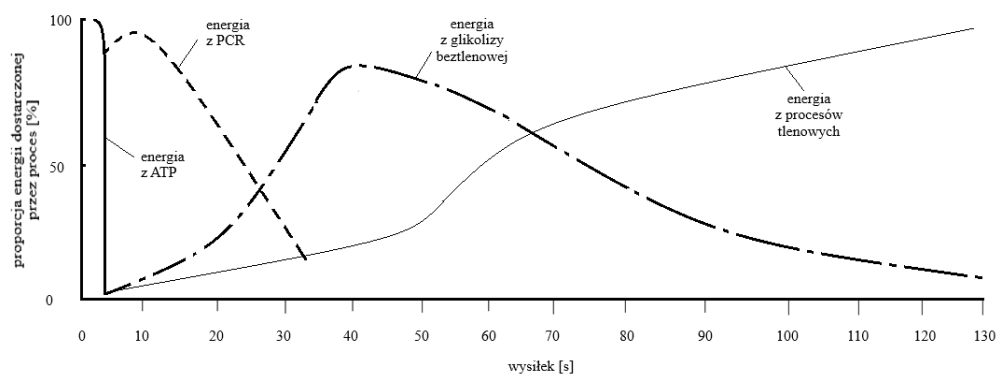
Dotychczasowe dane wskazują zatem, że treningi z dominującym metabolizmem beztlenowym mogą być ciekawą alternatywą do tradycyjnych metod treningu wytrzymałościowego, polegającego na wykonywaniu długotrwałych wysiłków o niskiej lub umiarkowanej intensywności. SIT, HIIT, ST to metody treningu o intensywności od co najmniej przekraczającej intensywność odpowiadającą progowi beztlenowemu, aż do intensywności supramaksymalnej (all-out). Ich cechą charakterystyczną jest krótki czas trwania i wysoka intensywność ćwiczenia. ST i SIT różnią się ponadto formą tj. ćwiczenia dynamiczne vs. ćwiczenia oporowe/statyczne wykonywane w wolnym tempie. Jackson i wsp. (2009) wskazali, że charakterystyka treningu o wysokiej intensywności nie jest jeszcze dobrze zdefiniowana i wymaga dalszych badań w celu poszukiwania optymalnej częstości, objętości, intensywności oraz czasu regeneracji, by efektywność tego treningu w poprawie stanu zdrowia i wydolności była jak najwyższa. Dotychczasowe dane wskazują, że trening beztlenowy może być uzupełnieniem lub zamiennikiem dla tradycyjnego treningu wytrzymałościowego, jednakże konieczne jest zweryfikowanie skuteczności różnych protokołów treningu beztlenowego w poprawie wydolności fizycznej, a w szczególności zdolności wytrzymałościowych.

1.2. Podłoże energetyczne wysiłków fizycznych

Energetyka pracy mięśniowej dzieli się na dwa podstawowe rodzaje:

- a) procesy beztlenowe (anaerobowe):
 - fosfagenowe (alaktyczne lub niekwasomlekowe);
 - glikolityczne (laktyczne lub kwasomlekowe).
- b) procesy tlenowe (aerobowe).

Wraz z czasem trwania wysiłku zmienia się jego podłoże energetyczne i zależy ono również od intensywności wysiłku (tabela. 1) (Birch i wsp. 2012, McArdle 2010). Na początku wysiłku fizycznego (zakładając, że jest on maksymalny) energia pochodzi z rozpadu adenozynotrifosforanu (ATP) i jest wykorzystywana przez około 3 sekundy. Do odbudowy wykorzystanego ATP konieczna jest fosfokratyna (PCr), której wykorzystanie pozwala kontynuować wysiłek na następne kilka/kilkanaście sekund. Wysiłki oparte na tym źródle energii, określane są jako wysiłki fosfagenowe i są to beztlenowe wysiłki niekwasomlekowe. W przypadku kontynuowania wysiłku, dominującą ścieżką energetyczną jest glikolityczny mechanizm pozyskiwania energii, którego produktem w warunkach niedoboru tlenu w tkance, jest mleczan. Po upływie około 120 sekund od rozpoczęcia wysiłku, dominującą ścieżką energetyczną są procesy tlenowe (rycina 1). Zatem wysiłki z dominującym metabolizmem beztlenowym, to wysiłki o wysokiej intensywności i czasem trwania około 90 sekund (optymalnie 20 - 60 sekund). Przykładowo podczas 20 sekundowego maksymalnego wysiłku 40 % energii pochodzi z fosfagenu, 50 % to źródło glikolityczne i 10 % z procesów tlenowych, natomiast w wysiłku trwającym 40 s odpowiednio: 5 %, 80 % i 15 % (rycina 1).



Rycina 1. Schemat kontinuum energetycznego (opracowanie własne autora na podstawie Birch i wsp. 2012)

Tabela 1. Zależność czasu trwania wysiłku fizycznego w wyznaczonej intensywności a główny system energetyczny (opracowanie własne autora na podstawie Zatoń i wsp. 2010)

Czas trwania	Intensywność	Główny system energetyczny
1 - 10 [s]	bardzo wysoka	fosfagen
10 - 30 [s]	wysoka	glikoliza beztlenowa
30 [s] - 2 [min]	duża	glikoliza beztlenowa
2 - 3 [min]	umiarkowana	glikoliza beztlenowa i procesy tlenowe
>3 [min]	niska	procesy tlenowe

1.2. Zdolności wytrzymałościowe

Zdolności wytrzymałościowe można zdefiniować jako wykorzystanie potencjału organizmu człowieka do długotrwałej pracy o określonej intensywności, wykonywanej bez oznak zmęczenia (Szopa i wsp. 1996). Jak podaje Osiński (2003), jest to również zdolność do lepszego wykorzystywania tlenu oraz substratów energetycznych podczas długotrwałego wysiłku fizycznego. Połączenie wydolności z koncentracją oraz cechami wolicjonalnymi przekłada się na wytrzymałość, która zależy od sprawności wykorzystywania tlenu i utylizacji produktów przemian materii, sprawności termoregulacji, a nawet od środowiska zewnętrznego (Szopa i wsp. 1996, Zatoń i wsp. 2010).

W praktyce, z fizjologicznego punktu widzenia, w ocenie wytrzymałości tlenowej uwzględnia się ocenę (Beneke, 2003, Jones i wsp. 2000):

- wydolności tlenowej;
- intensywności pracy na poziomie progów metabolicznych oraz maksymalny stan stały;
- ekonomii ruchu.

1.2.1 Wydolność tlenowa

Wydolność tlenowa jest to zdolność do wykonywania wysiłków długotrwałych (z dominującym metabolizmem tlenowym), o charakterze wytrzymałościowym. Wskaźnikiem, który wykorzystywany jest w ocenie wydolności aerobowej jest VO_{2max} , czyli maksymalna ilość tlenu pobierana i zużywana podczas wykonywania maksymalnego wysiłku (Åstrand i wsp. 1961, Bearden i wsp. 2001). Na poziom VO_{2max} wpływa głównie sprawność

układu oddechowego i krążenia, wskaźniki krwi oraz czynniki związane z metabolizmem mięśniowym. Wśród najważniejszych czynników determinujących VO_{2max} wymienić należy (Bruss i wsp. 2019; Zatoń i wsp. 2010):

- maksymalną wentylację płuc, w szczególności wentylację pęcherzykową;
- gęstość kapilar w płucach i sprawność wymiany gazowej;
- pojemność minutowa serca;
- stężenie hemoglobiny we krwi oraz liczbę erytrocytów – pojemność tlenowa krwi;
- typ włókien mięśniowych (Ia);
- stężenie mioglobiny w włóknach mięśniowych;
- liczbę mitochondriów;
- aktywność enzymów w procesach tlenowych;
- przepływ krwi przez mięsień.

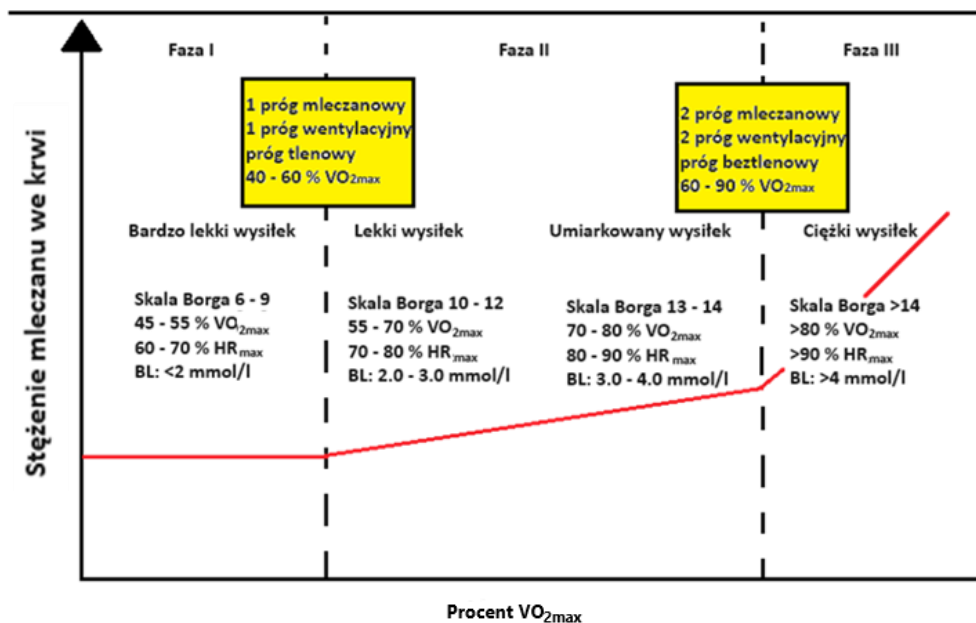
Wysoki poziom VO_{2max} jest konieczny w dyscyplinach o charakterze wytrzymałościowym takich jak kolarstwo szosowe, narciarstwo biegowe czy biegi długodystansowe. Przeciętne wielkości tego wskaźnika u osób niewytrenowanych kształtują się na poziomie 35 - 45 ml/kg (zależnie od płci), natomiast najwyższe odnotowane mogą oscylować wokół wielkości około 90 ml/kg.

1.2.2. Progi metaboliczne

Wraz ze wzrostem intensywności wysiłku długotrwałego zmienia się podłoże energetyczne wysiłku. Progi metaboliczne (wentylacyjne, mleczanowe) definiuje się jako intensywność pracy po przekroczeniu, której zmienia się podłoże energetyczne wysiłku. Wyróżnia się dwa progi metaboliczne, które mają istotne znaczenie w ocenie zdolności wytrzymałościowych.

Pierwszy próg wentylacyjny (VT I – *ang. first ventilatory threshold*) inaczej zwany jest pierwszym progiem mleczanowym lub progiem tlenowym. W trakcie wysiłku o intensywności odpowiadającej VT I dominują procesy tlenowe, niepowodujące zwiększenia stężenia mleczanu. Po przekroczeniu tego progu następuje wzrost produkcji mleczanu, ale sprawnie działające mechanizmy buforowe na bieżąco usuwają jego nadmiar, przez co następuje równowaga pomiędzy produkcją, a eliminacją mleczanu (Kindermann i wsp. 1979, Skinner i wsp. 1980).

Drugi próg wentylacyjny (VT II – *ang. second ventilatory threshold*), inaczej zwany jest drugim progiem mleczanowym, progiem anaerobowym. Po przekroczeniu intensywności VT II następuje dalsze zwiększenie produkcji mleczanu oraz zachwianie równowagi pomiędzy jego kumulacją a usuwaniem. Dochodzi wówczas do rozwoju niekompensowanej kwasicy metabolicznej (Meyer i wsp. 2005, Svedahl i wsp. 2003, Wasserman i wsp. 1973).



Rycina 2. Progi metaboliczne (opracowanie własne autora, na podstawie (Binder i wsp. 2008)
(VO_{2max} :maksymalny pobór tlenu; HR: częstość skurczów serca; BL: stężenie mleczanu)

Drugi próg metaboliczny, ma znacznie większe niż VT I znaczenie w ocenie zdolności wytrzymałościowych (Zatoń i wsp. 2010). W treningu sportowym, dąży się, by VT II występował przy jak najwyższej intensywności pracy, co przekłada się również na zwiększenie obciążenia wysiłkowego, przy którym nadal występuje równowaga pomiędzy produkcją mleczanu, a jego usuwaniem. W konsekwencji można wówczas wykonywać wysiłek fizyczny z większą intensywnością (większy procent mocy maksymalnej), zwiększając prędkość ruchu bez wzrostu poziomu mleczanu (Denadai i wsp. 2004). Od poziomu VT II zależy poziom maksymalnego stanu stałego (MLSS, *ang. Maximal Lactate Steady State*), czyli najwyższa intensywność pracy, przy której stężenie mleczanu utrzymuje się na względnie stałym poziomie podczas długotrwałego wysiłku submaksymalnego o intensywności podprogowej (Beneke 2003, Pringle i wsp. 2002). U osób wytrenowanych odnotowuje się VT II i MLSS przy wyższej intensywności pracy, niż u osób niewytrenowanych (Denadai i wsp. 2004).

1.2.3. Ekonomia pracy

Ekonomia pracy jest to zapotrzebowanie na energię przy określonym obciążeniu (np. prędkości biegu) i obrazowana jest wielkością zużycia tlenu podczas danego wysiłku (Conley i wsp 1980, Farrell i wsp. 1979). Przykładowo, ekonomia biegu przedstawiana jest jako ilość tlenu potrzebna do pokonania jednego kilometra dystansu i wyrażona jest w ml/kg/km. W przypadku dyscyplin biegowych uważa się, że może być ważniejszym wyznacznikiem zdolności wytrzymałościowych, niż VO_{2max} (Conley i wsp 1980). Osoby bardziej ekonomiczne podczas wysiłku zużywają mniej energii podczas stałej prędkości lub intensywności, niż osoby z gorszą ekonomią. Wskaźniki antropometryczne (obwód łydki i długość kończyn) są bardzo ważnym determinantem zdolności wytrzymałościowych wpływających na ekonomię ruchu wśród biegaczy (Conley i wsp 1980, Farrell i wsp. 1979, Lucia i wsp. 2006). Wśród rowerzystów na ekonomię pracy wpływa masa ciała, prędkość podczas jazdy na rowerze oraz pozycja aerodynamiczna, powodująca jak najmniejszy opór powietrza (Coyle i wsp. 1991, McCole i wsp. 1990, Swain i wsp. 1987).

1.3. Metody i efektywność aerobowego treningu wytrzymałościowego

Trening wytrzymałościowy (*ET, ang. endurance training*) można opisać jako trening o stałej lub zmiennej intensywności, charakteryzujący się dłuższym czasem trwania pojedynczej jednostki treningowej. Można go również zdefiniować jako trening o intensywności submaksymalnej (np. odpowiadającej maksymalnemu stanowi stałemu) lub o zwiększonej objętości treningowej (Billat i wsp. 2003, Phillips i wsp. 1996).

W treningu wytrzymałościowym wyróżnia się dwie podstawowe metody:

- metody ciągłe (trening długodystansowy ze stałą intensywnością);
- metody interwałowe (aerobic interval training (AIT)).

1.3.1. Metody ciągłe

Podczas wykonywania długodystansowego treningu wytrzymałościowego, wykonywany dystans powinien być dłuższy niż podczas zawodów, a czas trwania powinien wynosić od 30 min do 2 godzin (Daniels 1989, Hydren i wsp. 2015, Seilier i wsp. 2006) Tradycyjny model długodystansowego treningu wytrzymałościowego oparty jest na doborze intensywności treningu względem progów metabolicznych, maksymalnej częstości skurczów serca ($\% HR_{max}$) lub względem skali Borga (13 ≤ lub 14 – 16 punktów według 20-punktowej

skali Borga (Borg, 1998)). Zazwyczaj polega on na wykonywaniu długotrwałego wysiłku o niskiej/umiarkowanej intensywności (np. 70 % HR_{max}). Podstawą takiego treningu jest pogląd, że poprawa wytrzymałości jest proporcjonalna do objętości treningu. Inną wersją treningu ciągłego jest wykonywanie treningu w stałym tempie, zbliżonego do tempa zawodów najczęściej z intensywnością 80 - 95 % HR_{max} (zbliżona do II progu metabolicznego) - trening ciągły z dużą intensywnością. Minusem długotrwałego treningu wytrzymałościowego jest przede wszystkim czas trwania, który bardzo często zniechęca osoby początkujące oraz amatorów do dłuższego trenowania.

1.3.2. Metody interwałowe

AIT (*ang. aerobic interval training*) jest interwałowym wysiłkiem z większym stosunkiem wysiłku tlenowego do beztlenowego. Podstawowym parametrem treningu interwałowego jest stosunek pracy do odpoczynku i treningu o charakterze tlenowym, najczęściej wynosi on 1:1 lub 1:2 (Billat i wsp. 2001). Billat i wsp. (2001) wskazują, że AIT powinien być wykonywany z intensywnością zbliżoną do VT II, a z kolei w czasie aktywnego odpoczynku z intensywnością odpowiadającą VT I. AIT dzieli się na dwa rodzaje uwzględniając czas trwania: krótki (do 30 min) oraz długi (ok 60 min).

1.3.3. Efektywność aerobowego treningu wytrzymałościowego

Korzyści wynikające z wykonywania AIT, przekładające się na poprawę stanu zdrowia i wydolności (Koralsztejn i wsp. 2000, Molmen-Hansen i wsp. 2012, Smith i wsp. 1999), można podzielić na biochemiczne oraz fizjologiczne. Do biochemicznych korzyści należy zaliczyć: zwiększenie oksydacji kwasów tłuszczowych i glukozy (Billat i wsp. 2001), zwiększenie aktywności enzymów biorących udział w utlenianiu kwasów tłuszczowych (synteza cytrynianowa, dehydrogenaza mleczanowa, dehydrogenaza bursztynianowa, fosfofruktokinaza) (Haff i wsp. 2021, Henriksson i wsp. 1976) oraz zwiększenie produkcji ATP w mitochondriach podczas wysiłku fizycznego i liczby mitochondriów w włóknach mięśniowych poprzecznie prążkowanego typu Ia (Suter i wsp. 1995). AIT zwiększa aktywność enzymów oksydacyjnych (kinaza kreatynowa, miokinaza, ATPaza, fosfofruktokinaza, dehydrogenaza mleczanowa) (Costill i wsp. 1976, Dudley i wsp. 1982, Holloszy i wsp. 1976, Klausen i wsp. 1981, Schantz 1986 oraz Spina i wsp. 1996) i zwiększa produkcję erytrocytów (Bizjak i wsp. 2020).

Ten typ treningu poprawię ekonomię biegu, zmniejsza ciśnienie skurczowe i rozkurczowe, poprawia funkcjonowanie mięśnia sercowego oraz czynność śródbłonna naczyniowego (Chromiak i wsp. 1990, Laughlin i wsp. 2008). Trening wytrzymałościowy prowadzi do poprawy VO_{2max} oraz VT II - przesuując go ku wyższej intensywności – osiągnane jest to przez zwiększenie przepływu krwi w mięśniach szkieletowych (Franch i wsp. 1998, Gaesser i wsp. 1984, Gibbons i wsp. 1983). Trening AIT poprawia transport tlenu do komórek oraz poprawia funkcjonowanie układu krążeniowo-oddechowego (Mier i wsp. 1997, Spina i wsp. 1996). AIT zmniejsza również poziom otłuszczenia ciała (Blomqvist i wsp. 1983) oraz powoduje bradykardię, przez co zwiększa się rezerwa tętna (Hoppeler i wsp. 1985, 1986).

1.4. Metody i efektywność treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym

Trening o charakterze beztlenowym tradycyjnie jest wykorzystywany do poprawy wydolności beztlenowej (fosfagenowej i glikolitycznej) oraz do poprawy siły, szybkości i mocy mięśni oraz tolerancji zaburzeń równowagi kwasowo-zasadowej. Wydolność anaerobowa jest zdolnością organizmu do wykonywania wysiłków krótkotrwałych o charakterze szybkościowo-siłowym. Wyznacznikiem wydolności beztlenowej jest maksymalna moc beztlenowa (P_{max}) (Zatoń i wsp. 2010), będąca produktem (iloczynem) siły i szybkości. Wielkość generowanej mocy podczas wysiłku supramaksymalnego zależy m.in. od siły mięśni (w tym sprawności rekrutacji jednostek motorycznych), szybkości skracania włókien mięśniowych, temperatury mięśni i zasobów energetycznych (fosfagenu). Metody treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym obejmują zarówno treningi interwałowe o bardzo wysokiej (SIT) i wysokiej intensywności (HIIT), polegające na wykonywaniu serii wysiłków o krótkim czasie trwania (3 - 10 sekund w przypadku kształtowania wydolności fosfagenowej i 10 - 60 sekund, jeśli celem jest poprawa układu glikolitycznego), jak również tradycyjny trening oporowy (siłowy), ukierunkowany na poprawę siły mięśni.

1.4.1. Trening HIIT i SIT

Trening HIIT i SIT są to dwie zbliżone metody treningu interwałowego, polegające na wykonywaniu powtarzających się wysiłków intensywności zbliżonej do maksymalnej i supramaksymalnej, oddzielonych przerwami na odpoczynek bierny lub aktywny. Można

powiedzieć, że SIT jest bardziej intensywną formą HIIT, gdyż wykonywany jest zazwyczaj z supramaksymalną intensywnością, a tymczasem HIIT może być wykonywany z niższą intensywnością, zbliżoną do maksymalnej (Buchheit i wsp. 2013, Currie i wsp. 2013, Gibala i wsp. 2012, Kessler i wsp. 2012). Intensywność wysiłków powinna jednak sięgać powyżej 90 % maksymalnego poboru tlenu (Buchheit i wsp. 2013).

Według doniesień naukowych HIIT jest jedną z najbardziej efektywnych form treningu stosowaną w celu poprawy wydolności aerobowej wśród sportowców oraz amatorów (Buchheit i wsp. 2013). HIIT zalecany jest w dyscyplinach sportowych, w których energetyka wysiłku jest mieszana i stosuje się go głównie w okresie przedstartowym (Haff i wsp. 2021). Ostatnie doniesienia naukowe wskazują, że trening ten, może mieć również zastosowanie w treningu wytrzymałościowym. Wykazano, że zwiększa prędkość startową oraz średnią intensywność biegu (Billat, 2001, Buchheit i wsp. 2013, Laursen 2010). Protokół treningu interwałowego o wysokiej intensywności jest dobrze poznany i poprawia wytrzymałość nie tylko u biegaczy (Bangsbo i wsp. 2009, Esfajrani i wsp. 2007, García-Pinillos i wsp. 2017, Kohn i wsp. 2011), ale również wśród cyklistów (Creer i wsp. 2004, Laursen i wsp. 2005, Lindsay i wsp. 1996, Westgarth-Taylor i wsp. 1997, Weston i wsp. 1997).

Mechanizmy biochemiczne i fizjologiczne prowadzące do poprawy zdolności wysiłkowych po HIIT obejmują: zwiększenie aktywności enzymów (fosfofruktokinaza, kinaza kreatynowa, dehydrogenaza pirogronianowa) (Altenburg i wsp. 2007, Burgomaster i wsp. 2005, Burgomaster i wsp. 2007, Parolin i wsp. 1999), redukcję wykorzystania glikogenu (Burgomaster i wsp. 2006), mniejszą kumulację mleczanu podczas ćwiczeń (Ross i wsp. 2001) i poprawę zdolności buforujących (Edge i wsp. 2006, Weston i wsp. 1996).

Po HIIT odnotowano przesunięcie progu beztlenowego ku wyższej intensywności (Laughlin i wsp. 2008), poprawę wydolności beztlenowej i tlenowej (Rakobowchuk i wsp. 2009), zwiększenie oksydacji tłuszczów, zwiększenie przepływu krwi, poprawę elastyczności naczyń krwionośnych, zwiększenie wentylacji płuc oraz mocy maksymalnej (Gao i wsp. 2022). Trening HIIT może zmniejszać poziom otłuszczenia efektywniej niż długotrwały wysiłek aerobowy (Astorino i wsp. 2012, Laursen i wsp. 2005, McMurray i wsp. 1991, Ní Chéilleachair i wsp. 2017 oraz Westgarth-Taylor i wsp. 1997). Interesującym dowodem naukowym jest to, że trening HIIT zwiększa również ilość glikogenu mięśniowego (Ross i wsp. 2001).

SIT (*ang. sprint interval training*) polega na wykonywaniu powtarzanych wysiłków o charakterze szybkościowym z supramaksymalną intensywnością. Najczęściej bazuje on na 30-sekundowym teście mocy beztlenowej – teście Wingate. Można go również zdefiniować

jako krótkotrwałe intensywne wysiłki przeplatane odpoczynkiem (Bailey i wsp. 2009, Bayati i wsp. 2011, Forbes i wsp. 2008, Gibala i wsp. 2008, Hazell i wsp. 2010 oraz Trilk i wsp. 2011). Intensywność SIT określa się jako „all-out” tzn. musi być wykonywana z możliwie największą intensywnością i maksymalnym zaangażowaniem osoby trenującej (Gist i wsp. 2014). Zarówno sportowcy, jak amatorzy, podczas wykonywania SIT, ze względu na podobieństwo do testu Wingate, uzyskują między 5, a 10 sekundą wysiłku moc szczytową (ang. *PPO – peak power output*), po której następuje jej gwałtowny spadek przez dalszy czas trwania wysiłku (Hazell i wsp. 2010). Intensywność SIT powoduje narastające zmęczenie i obniżenie mocy oraz kumulację mleczanu. Czas przerwy wypoczynkowej pozwala na częściową lub całkowitą odbudowę fosfagenu i najczęściej wynosi około 4 minut (Baker i wsp. 2010, Hazell i wsp. 2010).

Systematyczne wykonywanie SIT wywołuje szereg zmian biochemicznych. Dowiedziono, że trening SIT powoduje zwiększenie aktywności enzymów metabolizujących glikogen, enzymów glikolitycznych, oksydacyjnych oraz kinazy kreatynowej lub aminotransferazy (Cadeffau i wsp. 1990, Ross i wsp. 2001). Wpływa również na zwiększenie uwalniania jonów wapnia (Ca^{2+}) z retikulum sarkoplazmatycznego otaczającego włókna mięśniowe poprzecznie prążkowane (Cadeffau i wsp. 1990). Wśród pożądanych efektów fizjologicznych SIT wymienia się zwiększenie VO_{2max} i beztlenowej mocy szczytowej, poprawienie zdolności oksydacyjnych mięśni szkieletowych (Burgomaster i wsp. 2005, Burgomaster i wsp. 2006, Burgomaster i wsp. 2007). Po zakończonym treningu SIT zaobserwowano zwiększoną spoczynkową ilość glikogenu mięśniowego o 26 % (MacDougall i wsp. 1998).

Ogromną zaletą SIT jest to, że można go wykonać nie tylko przy użyciu ergometru rowerowego, ale również ergometru wioślarskiego lub biegając. Taka forma treningu sprawia, że zawodnicy różnych dyscyplin są w stanie wykorzystywać SIT do poprawy swoich zdolności wytrzymałościowych – trening staje się specyficzny dla danej dyscypliny sportu (Buchan i wsp. 2011, Buchheit i wsp. 2010, Farzad i wsp. 2011, Iaia i wsp. 2011, Kim i wsp. 2011, Macpherson i wsp. 2011). Mankamentem SIT jest przede wszystkim to, że zalecany jest on głównie osobom trenującym/aktywnym fizycznie, a nie osobom prowadzącym sedentarny tryb życia, ze względu na wysoką intensywność ćwiczeń (Astorino i wsp. 2016, Hardcastle i wsp. 2014).

1.4.2. Trening siłowy

Siłę, a dokładniej zdolności siłowe, można zdefiniować jako zdolność mięśni do pokonania oporu zewnętrznego lub przeciwdziałania mu w warunkach statycznych lub dynamicznych (Heyward 1997, Szopa i wsp. 1996). Trening siłowy, inaczej zwany treningiem oporowym (*RT lub ST, ang. resistance training/ strength training*) jest formą treningu fizycznego, podczas którego pokonywany jest opór zewnętrzny. Biorąc pod uwagę aspekty fizjologiczne, ST można zdefiniować jako formę wysiłku beztlenowego o krótkim czasie trwania i różnej intensywności wykonywanego z dodatkowym obciążeniem. Dodatkowo definiując pojęcie treningu siłowego należy zaznaczyć, że jest to forma aktywności fizycznej stosowana także w rehabilitacji oraz prewencji przed kontuzją (Escamilla i wsp. 2003, Kraemer i wsp. 2002, Kraemer i wsp. 2004, Steele i wsp. 2017). Wykonując ćwiczenia przy użyciu oporu zewnętrznego w celu zwiększenia siły mięśniowej nie należy dążyć do niewydolności mięśni (*MF, ang. muscle failure*) (Drinkwater i wsp. 2007, Folland i wsp. 2002, Grgic i wsp. 2022, Izquierdo i wsp. 2006, Kramer i wsp. 1997, Martorelli i wsp. 2017, Nóbrega i wsp. 2016, Nóbrega i wsp. 2018) i wykonywać je w pełnym zakresie ruchu (Pallarés i wsp. 2021). Trening oporowy może być ukierunkowany na rozwój mocy mięśni, siłę, zwiększenie masy mięśniowej lub wytrzymałość mięśni. Wytyczne do treningu siłowego przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Rekomendacje do treningu oporowego (opracowanie własne autora na podstawie Haff i wsp. 2021)

	Częstotliwość (na tydzień)	Intensywność (%RM)	Objętość	Czas przerwy
MOC	1-2	30-60%	3-6 powtórzeń 3-6 serii	2-5 min
SIŁA	3-5	>85%	2-6 powtórzeń 2-5 serii	2-3 min
HIPERTROFIA	4-6	67-85%	6-12 powtórzeń 3-6 serii	30-90 s
WYTRZYMAŁOŚĆ	5-7	<65%	15-25 powtórzeń 2-3 serii	<30 s

Tradycyjny trening siłowy wykorzystywany jest do zwiększenia masy mięśniowej oraz zwiększenia siły (Häkkinen i wsp. 1987, Kraemer i wsp. 1995, Kuboi i wsp. 2003, Stone i wsp. 1992). Ostatnie badania pokazują również, że poprzez trening siłowy może być również wykorzystywany w celu poprawy wydolności tlenowej. Według badań naukowych (Kraemer i wsp. 1995, Sporiš i wsp. 2011, Vikmoen i wsp. 2016) trening ST zwiększa nie

tylko siłę maksymalną oraz moc szczytową, ale wpływa na zwiększenie VO_{2max} oraz poprawia ekonomię jazdy u kolarzy (Hoff i wsp. 2002). W innym badaniu (Sporiš i wsp. 2011) wykazano, że trening siłowy przy użyciu wolnych ciężarów poprawił u piłkarzy nożnych zarówno wydolność aerobową, jak anaerobową. W kolejnych badaniach, obserwowano po treningu oporowym poprawę zdolności wytrzymałościowych, ocenianych przez ekonomię pracy (Heggelund i wsp. 2013, Hoff i wsp. 2002, Loveless i wsp. 2005, Østerås i wsp. 2002, Rønnestad i wsp. 2015, Støren i wsp. 2008, Sunde i wsp. 2010 oraz Vikmoen i wsp. 2016). Po takim treningu obserwowano również niższe stężenie mleczanu, niż po treningu o charakterze tlenowym (Vikmoen i wsp. 2016). Co ciekawe, dowiedziono, że 20-sto tygodniowy ST wpływa na zwiększanie wskaźników krwi takich jak: średnia objętość krwinek czerwonych, hematokryt oraz liczbę krwinek czerwonych (Hu i wsp. 2008). Autorzy sugerują, że trening oporowy wpływa na wahania parametrów morfologii krwi, powodując wzrost wskaźników związanych z czerwonymi krwinkami. Może on przeciwdziałać anemii sportowej, która często występuje wśród osób uprawiających treningi wytrzymałościowe. W innym badaniu (Schjerve i wsp. 2008) wykazano, że ST istotnie poprawia, w podobny sposób jak trening interwałowy o wysokiej intensywności lub długotrwały trening aerobowy, funkcjonowanie układu krążenia u otyłych osób – po treningu nastąpił nie tylko znaczący wzrost VO_{2max} , ale również poprawiła się funkcja śródbłonna w naczyniach krwionośnych, nastąpił wzrost PGC-1 α , białka odpowiedzialnego za regulowanie pracy wątroby podczas glukoneogenezy czy biogenezy mitochondriów oraz zwiększył się transport jonów wapnia Ca^{2+} , biorących udział w skurczu mięśni. Dodatkowo zanotowano spadek poziomu lipoproteiny LDL u badanych osób.

1.5. Cel pracy oraz pytania badawcze

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu różnych form treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym na zdolności wysiłkowe organizmu (wydolność tlenową i beztlenową), a w szczególności na zdolności wytrzymałościowe młodych mężczyzn, oceniane za pomocą maksymalnego poboru tlenu oraz drugiego progu wentylacyjnego. W badaniu wykorzystano dwa odmienne metody treningu beztlenowego, wywołujące różne skutki fizjologiczne i biochemiczne. Pierwsza z nich, trening siłowy (ST), ukierunkowana była na poprawę siły mięśni. Druga, interwałowy trening sprinterski (SIT), była ukierunkowana na poprawę szybkości i mocy mięśni. Przyjęto hipotezę, że obie formy treningu beztlenowego będą równie skuteczne w poprawie zdolności wytrzymałościowych jak tradycyjny aerobowy trening interwałowy (AIT).

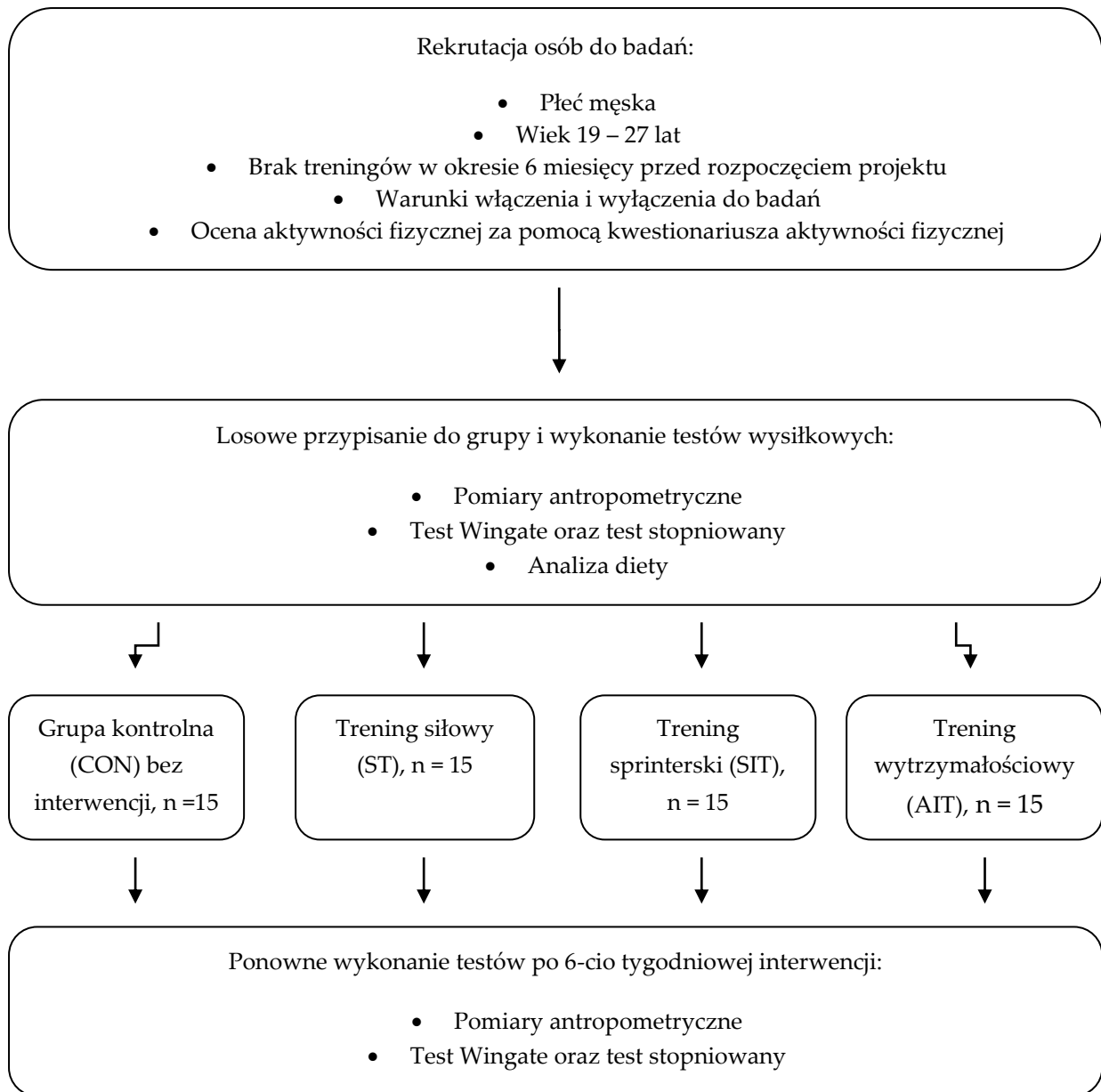
Cel pracy został doprecyzowany następującymi pytaniami badawczymi:

1. Czy trening o charakterze beztlenowym (sprinterski lub siłowy) poprawia wydolność tlenową w podobnym stopniu jak interwałowy trening tlenowy?
2. Czy trening szybkościowy i siłowy oddziałuje w podobny sposób jak interwałowy trening tlenowy na zdolności wytrzymałościowe oceniane z wykorzystaniem progów wentylacyjnych?
3. Czy trening szybkościowy oraz siłowy może być skuteczny w redukcji otłuszczenia ciała wśród badanych osób?
4. Czy po zrealizowanym treningu o charakterze beztlenowym zwiększy się wydolność beztlenowa (moc kończyn dolnych) w podobny sposób jak po treningu o charakterze tlenowym?

2. Metodyka badań

2.1. Plan badań

W badaniach uczestniczyło 60 młodych mężczyzn, którzy byli rekrutowani do czterech grup, z czego trzy realizowały różne treningi fizyczne: interwałowy trening aerobowy o submaksymalnej intensywności (aerobic interval training - AIT), trening siłowy (strength training - ST), interwałowy trening sprinterski o supramaksymalnej intensywności (sprint interval training - SIT). Czwartą grupę stanowiła grupa kontrolna, bez interwencji treningowej (control - CON). Dwa protokoły treningowe (ST i SIT) oparte były na treningu beztlenowym, natomiast AIT był to trening o dominującym metabolizmie tlenowym. W każdej grupie dwukrotnie (przed i po interwencji wysiłkowej) przeprowadzono pomiary somatyczne, oraz test wydolności tlenowej i beztlenowej. Ponadto, u każdego badanego określono deklarowaną aktywność fizyczną oraz dokonano analizy zwyczajowej diety. Każda interwencja wysiłkowa trwała 6 tygodni, z trzema treningami tygodniowo. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby w trakcie interwencji nie zmieniać diety i aktywności fizycznej. Przed rozpoczęciem interwencji uczestnicy zostali zapoznani z procedurami testów wysiłkowych oraz zapoznali się z techniką jazdy na cykloergometrze. Pierwszego dnia badań uczestnicy wzięli udział w pomiarach somatycznych oraz wykonali w odstępie dwóch godzin test wydolności beztlenowej i tlenowej. Pomiary te powtórzono tydzień po zakończeniu treningu. Uczestnicy musieli powstrzymać się od jedzenia na 2 godziny przed testami wysiłkowymi i zostali poproszeni o nieuczestniczenie w żadnych intensywnych ćwiczeniach na 24 godziny przed testami wysiłkowymi oraz o nawadnianie się w tym czasie. Przed badaniami wydolnościowymi nie wolno im było spożywać alkoholu ani napojów zawierających kofeinę. Wszystkie badania przeprowadzone zostały o tej samej porze dnia od godziny 8.00, a badani byli po lekkostrawnym posiłku. Badania wykonane zostały w warunkach laboratoryjnych, w Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie, w Pracowni Fizjologicznych Podstaw Adaptacji. SIT i AIT odbywały się również w tej Pracowni, natomiast ST w siłowni. Treningi odbywały się pod nadzorem pracowników Pracowni lub instruktora sportu/przygotowania motorycznego. Testy wysiłkowe i treningi odbywały się w zbliżonych warunkach, temperatura otoczenia wynosiła około 21°C, a wilgotność około 40 %.



Rycina 3. Przebieg badań

Do badań rekrutowano młodych zdrowych mężczyzn, deklarujących dobry stan zdrowia i brak przeciwwskazań do wysiłków o wysokiej intensywności. Przyjęto następujące kryteria włączenia i wykluczenia z badań:

Kryteria włączenia:

- Wiek (19 – 27 lat);
- Deklarowany dobry ogólny stan zdrowia (brak przewlekłych chorób, stanów zapalnych, przebytych złamań, zabiegów chirurgicznych w okresie 6 miesięcy przed rozpoczęciem projektu);

- Brak treningów w okresie 6 miesięcy przed rozpoczęciem projektu;
- Płeć męska.

Kryteria wyłączenia:

- Regularna aktywność fizyczna (trening sportowy);
- Otyłość lub nadwaga;
- W wywiadzie przewlekłe stany chorobowe, urazy, przeciwwskazania kardiologiczne do wykonywania wysiłków fizycznych. Po stwierdzeniu powyższych kryteriów wykluczenia w wywiadzie, uczestnika kierowano na badania lekarskie wykluczające przeciwwskazania do udziału w badaniach.

Wielkość próby została określona przed rozpoczęciem badań. Do kalkulacji wielkości próby użyto oprogramowania G*Power wersja 3.1.9.7 (Niemcy) z wyborem opcji ANOVA z powtarzanymi pomiarami. Wymagana wielkość próby wynosiła 15 uczestników na grupę (całkowita wielkość próby = 60).

Wszyscy uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach, zostali poinformowani o celu badania i zakresie badań. Na przeprowadzenie badań uzyskano zgodę Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Krakowie o numerze: Nr 187 /KBL/OIL/2022 z dnia 1 lipca 2022 r.

2.2. Charakterystyka badanych

W badaniu wzięli udział mężczyźni nieuprawiający regularnie żadnego sportu. Ich aktywność fizyczna była zróżnicowana i spontaniczna. Przed rozpoczęciem interwencji wysiłkowej nie mieli oni doświadczenia z regularnym treningiem fizycznym; nie byli również doświadczeni w treningu siłowym. Uczestnicy byli w wieku od 19 do 27 lat, a budowa ich ciała była prawidłowa (tj. bez nadwagi lub otyłości). Wiek, budowa somatyczna, zwyczajowa dieta oraz poziom aktywności fizycznej uczestników przedstawiono w tabelach 5 - 7.

2.3. Analiza aktywności fizycznej

Siedmiodniowy kwestionariusz Physical Activity Recall (PAR) został wykorzystany do oceny deklarowanej przez uczestników aktywności fizycznej (Blair i wsp. 1985, Sarkin i wsp. 1997). Uczestnicy zostali poinstruowani, jak wypełnić kwestionariusz i wypełniali go w obecności badacza, który w razie potrzeby wyjaśniał wszelkie wątpliwości. Dane przedstawiają aktywność fizyczną na początku interwencji wysiłkowej. Zastosowany

kwestionariusz pozwolił określić: czas snu, czas poświęcony na aktywność fizyczną o lekkiej, umiarkowanej i wysokiej intensywności oraz wydatek energetyczny podczas tych czynności.

2.4. Analiza diety

Spożycie kalorii przez uczestników oszacowano za pomocą aplikacji Fitatu (Polska) (Mistura i wsp. 2021). Po rozpoczęciu badania uczestnicy prowadzili dzienniczki żywieniowe przez 10 dni, wprowadzając do aplikacji rodzaj spożywanych posiłków oraz ich objętość lub wagę. Spożycie kalorii zostało przedstawione jako dzienna liczba kilokalorii (kcal/dzień). Ponadto, określono w diecie udział białek, tłuszczu oraz węglowodanów.

2.5. Pomiary somatyczne

Wysokość ciała została zmierzona przy pomocy antropometru (Seca 217, Niemcy) z dokładnością do 0,1 cm. badana osoba była ustawiona tyłem do antropometru, w pozycji wyprostowanej z głową ułożoną w płaszczyźnie frankfurckiej, Wysokość ciała zmierzono od podstawy, na której stała osoba badana (bez obuwia) – basis do najwyższego punktu na kości ciemieniowej - vertex (Gołąb i wsp. 2010). Masę ciała oraz skład ciała określono za pomocą analizatora składu ciała (IOI 353, Jawon Medical, Korea). Pomiar był wykonywany w samej bieliźnie. Masa ciała była mierzona z dokładnością do 0,1 kg. Skład ciała był szacowany metodą bioelektrycznej impedancji (8 elektrod, 3 częstotliwości pomiaru). Przed każdym pomiarem, dezynfekowano i odtuszczano elektrody oraz stopy badanego. W pomiarze określono: masę ciała (BM), wskaźnik masy ciała (BMI), beztłuszczową masę ciała (LBM), masę tkanki tłuszczowej (BFM), odsetek tkanki tłuszczowej w organizmie (PBF) oraz zawartość wody całkowitej (TBW).

2.6. Testy wysiłkowe

Do oceny wydolności tlenowej i beztlenowej użyto odpowiednio testu stopniowanego i testu Wingate.

2.6.1. Test Wingate

Test Wingate (Inbar i wsp. 1986) przeprowadzono na ergometrze rowerowym (E834, Monark, Szwecja). Ergometr rowerowy był podłączony do komputera i wykorzystywał oprogramowanie (MCE, JBA Staniak, Polska) do obliczania następujących wskaźników: moc szczytowa (PP), moc średnia (MP), czas do osiągnięcia mocy szczytowej (TTR-PP), czas

utrzymania mocy szczytowej (TM-PP), wskaźnik zmęczenia (spadku mocy) (FI), praca całkowita (TW) oraz wskaźnik szybkościowo-siłowy (WSS). Po ustawieniu wysokości siodełka badany rozpoczynał 5-minutową rozgrzewkę z obciążeniem 120 W i kadencją 60 obrotów na minutę, podczas której uczestnik wykonał dwa (w 2 i 4 minucie) maksymalne przyspieszenia trwające około 5 - 6 sekund. Pomiedzy rozgrzewką a testem była 5-minutowa przerwa regeneracyjna, w trakcie której przez 4 minuty uczestnik rozciągał się. Zasadniczy wysiłek polegał na wykonaniu 30-sekundowego sprintu z obciążeniem wynoszącym 7,5 % masy ciała. Test miał stacjonarny start (Coleman i wsp. 1985), a zadaniem uczestnika było osiągnięcie maksymalnej prędkości pedałowania (obrotów na minutę) tak szybko, jak to możliwe, a następnie utrzymanie jej do końca testu (wysiłek all-out). Podczas testu uczestnik był energicznie zachęcany werbalnie do wykonywania supramaksymalnego wysiłku. Podczas testu uczestnik musiał przebywać w pozycji siedzącej.

2.6.2. Test stopniowany

Maksymalny minutowy pobór tlenu został zmierzony metodą bezpośrednią z wykorzystaniem testu stopniowanego. Na podstawie wyników tego testu zostały również, indywidualnie dla każdego badanego wyznaczone progi wentylacyjne – pierwszy (VT I) oraz drugi (VT II). Test wykonywany był na ergometrze rowerowym (Ergoline Ergoselect 100, GE, Niemcy). Analiza gazów oddechowych została wykonana metodą „breath by breath” za pomocą ergospirometru Metalizer 3B (Cortex, Niemcy). Każdorazowo przed testem, ergospirometr był kalibrowany, zgodnie z wymaganiami producenta (kalibracja objętości i gazowa). Test rozpoczynał się spoczynkową rejestracją badanych wskaźników przez dwie minuty i następnie badani wykonywali 4 minutową rozgrzewkę z obciążeniem wynoszącym 60 W i kadencją 60 obrotów na minutę. Następnie, co 2 minuty, moc wysiłku zwiększała się o 30 W, aż do subiektywnego uczucia wyczerpania („do odmowy”). Podczas testu badany był energicznie werbalnie dopingowany. W teście mierzono następujące wskaźniki: częstość skurczów serca (HR), pobór tlenu (VO_2), wentylację minutową płuc (V_E), minutową produkcję dwutlenku węgla (VCO_2), współczynnik oddechowy (RER), odsetek tlenu w powietrzu wydychanym (F_{EO_2}), odsetek dwutlenku węgla w powietrzu wydychanym (F_{ECO_2}), ekwiwalenty wentylacyjne dla tlenu (V_E/VO_2) i dwutlenku węgla (V_E/VCO_2) oraz moc wysiłku (P).

Po zakończeniu testu dokonano analizy uzyskanych danych – wyznaczono maksymalny pobór tlenu (VO_{2max}) oraz progi wentylacyjne (VT I i VT II). Do wyznaczenia VO_{2max} zastosowano następujące kryteria: brak przyrostu w VO_2 pomimo zwiększania

obciążenia (plateau w VO_2), $RER > 1,1$ i HR zbliżone do przewidywanego dla wieku HR_{max} (± 5 skurczów/minutę). Jeśli nie zaobserwowano plateau, ale pozostałe kryteria zostały spełnione, VO_{2peak} przyjmowano jako VO_{2max} (Howley i wsp. 1995). Na podstawie zmian mierzonych wskaźników fizjologicznych wraz ze wzrostem mocy wysiłku wyznaczono progi wentylacyjne. Progi wentylacyjne zostały przy użyciu metody ekwiwalentów oddechowych (Bhambhani i wsp. 1985, Binder i wsp. 2008). Pierwszy próg został wyznaczony przy intensywności (mocy) przy której V_E/VO_2 i $F_{E}O_2$ osiągnęły minimum i następował nieliniowy wzrost wentylacji. Drugi próg wentylacyjny został wyznaczony przy intensywności, przy której V_E/VCO_2 osiągało wartość minimalną, a $F_{E}CO_2$ maksymalną oraz obserwowano drugie załamanie liniowości wentylacji płuc. Intensywność pracy przy VT I i VT II została przedstawiona jako % HR_{max} i % VO_{2max} .

2.7. Charakterystyka treningów

W każdej wersji treningu badani wykonali 18 jednostek treningowych przez 6 tygodni, z częstością 3 razy w tygodniu.

2.7.1. Trening siłowy

Trening oporowy ukierunkowany był na zwiększenie siły i został wykonany na siłowni przy użyciu wolnych ciężarów (sztang, hantli) oraz masy własnego ciała (Morris i wsp. 2022, Soria-Gila i wsp. 2015). Na pierwszej jednostce treningowej u każdego z uczestników wyznaczono 1 maksymalne powtórzenie (1 RM) w celu późniejszego dobru intensywności wysiłku. Obciążenie było zwiększane do momentu, aż badany nie był w stanie wykonać kolejnego powtórzenia jeden raz (wzrost obciążenia między seriami wynosił na początku 20 kg, następnie 10 – 5 kg). Dobór intensywności treningu (liczbą powtórzeń, procent ciężaru maksymalnego) ustalony był przy użyciu tabeli Charlesa Poliquina w zależności od ustalonego celu treningowego (tabela 3) (Babiarz 2017, Poliquin 1997). Przez pierwsze 3 jednostki treningowe uczestnicy badania wykonywali ćwiczenia przy intensywności 70 % ciężaru maksymalnego, następnie w kolejnych tygodniach intensywność była zwiększana do 80 %, a wraz z nią obciążenie ze zmienną objętością serii głównych oraz tempem ćwiczeń (Hoeger i wsp. 1987). Na pierwszej jednostce treningowej wykonywano przysiady ze sztangą z tyłu (*low bar*), następnie wyciskopodrzut, wypychanie bioder ze sztangą na ławce poziomej oraz nordyckie uginanie. Podczas kolejnej jednostki treningowej uczestnicy wykonywali martwy ciąg konwencjonalny, przysiady bułgarskie, wspięcia na

palce na suwnicy ze skosem dodatnim oraz brzuch w płaszczyźnie strzałkowej przy użyciu rollera. Na trzeciej jednostce treningowej wykonywali te same ćwiczenia co na pierwszej, ale różnica polegała na zmniejszonej objętości (Schoenfeld i wsp. 2014) oraz tempie wykonania poszczególnej fazy skurczu mięśniowego (Wilk i wsp. 2021). Tempo wykonania ćwiczenia opisuje w sekundach fazę skurczu ekscentrycznego, pauzę w połowie fazy ruchu, fazę skurczu koncentrycznego i pauzę na zakończenie ruchu np.: 3/0/1/0 (Wilk i wsp. 2018 i 2020). Znak X w tabeli 4 oznacza dynamiczne lub jak najszybsze wykonanie fazy skurczu. Uczestnicy w grupie ST wykonywali trudniejsze ćwiczenia (przysiady, przysiady bułgarskie, martwy ciąg) w kontrolowanym tempie ze względu na niską znajomość techniki a przez to zmniejszali ryzyko wystąpienia kontuzji. Wykonując 1RM uczestnicy wykonywali ćwiczenie swoim własnym tempie, nie mając ustalonego czasu wykonania poszczególnych faz skurczu mięśniowego. Na początku treningu i w każdym ćwiczeniu uczestnicy przeprowadzali serie rozgrzewkowe, następnie wykonywali serie proste liczące się jako robocze, a czas przerwy między seriami wynosił 3 – 5 min w zależności od intensywności wysiłku. Liczba powtórzeń w serii wynosiła pomiędzy 3 a 5. Na ostatniej jednostce treningowej zostały ponownie wyznaczone powtórzenia maksymalne przy użyciu największego ciężaru jaki są w stanie obecnie podnieść w celu zbadania poprawy wyników i zwiększenia siły mięśniowej (Worn i wsp. 2022). Szczegółowy przebieg treningu przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zasady doboru intensywności w zależności od oczekiwanego efektu treningowego (opracowanie własne na podstawie Babiarz 2017, Poliquin 1997)

LICZBA POWTÓRZEŃ	% CIĘŻARU MAKSYMALNEGO	EFEKT TRENINGOWY	RODZAJ WŁÓKIEN MIĘŚNIOWYCH
1	100 %	Siła względna = siła maksymalna / masę ciała – zwiększa odpowiedź układu nerwowego	Włókna szybko kurczliwe typ IIx
2	94,3 %		
3	90,6 %		
4	88,1 %		
5	85,6 %		
6	83,1 %	Hipertrofia funkcjonalna – optymalny kompromis pomiędzy siłą a masą mięśniową	Włókna szybko kurczliwe typ IIax
7	80,7 %		
8	78,6 %		
9	76,5 %	Hipertrofia niefunkcjonalna – zwiększenie masy mięśniowej z niskim przyrostem siły	Włókna szybko kurczliwe typ IIa
10	74,4 %		
11	72,3 %		
12	70,3 %		
13	68,8 %	Wytrzymałość mięśniowa – zwiększenie wytrzymałości mięśni bez wysokich przyrostów siły i masy mięśniowej	Włókna wolno kurczliwe typ I
14	67,5 %		
15	66,2 %		
16	65,1 %		
17	63,8 %		
18	62,7 %		
19	61,6 %		
20	60,6 %		

Tabela 4. Szczegółowy plan treningowy zrealizowany przez grupę ST (Źródło własne autora)

Tydzień	Ćwiczenie	Objętość	Intensywność ([%] 1RM)	Obciążenie	Tempo	Czas przerwy	
I	Pon Rozgrzewka 1. Przysiad ze sztangą 2. Wyciskopodrzut 3. Prostowanie bioder 4. Nordyckie uginanie	5x5	70 [%]	Własna masa ciała	3/0/1/0	180 [s]	
		3x5	70 [%]		3/0/1/0	180 [s]	
		3x5	70 [%]		3/0/1/0	180 [s]	
		3x1/1/1			4/0/1/0	180 [s]	
	Śr Rozgrzewka 1. Martwy ciąg 2. Wspięcia na palce 3. Brzuch (roller)	3x5	70 [%]		3/1/1/0	180 [s]	
		5x5	70 [%]		3/0/1/0	180 [s]	
		3x5			3/0/1/0	180 [s]	
	Pt Rozgrzewka 1. Przysiad ze sztangą 2. Wyciskopodrzut 3. Prostowanie bioder 4. Nordyckie uginanie	3x5	70 [%]		Własna masa ciała	1/2/1/0	180 [s]
		3x5	70 [%]			1/0/X/0	180 [s]
		3x5	70 [%]			1/0/1/2	180 [s]
		3x1/1/1/				4/0/1/0	180 [s]
	II	Pon Rozgrzewka 1. Przysiad ze sztangą 2. Wyciskopodrzut 3. Prostowanie bioder 4. Nordyckie uginanie	1			Własna masa ciała	
3x5			80 [%]	3/0/1/0	240 [s]		
3x5			80 [%]	3/0/1/0	240 [s]		
3x5			80 [%]	3/0/1/0	240 [s]		
Śr Rozgrzewka 1. Martwy ciąg 2. Przysiady bułgarskie 3. Wspięcia na palce 4. Brzuch (roller)		3x3		Własna masa ciała	4/0/1/0		180 [s]
		3x5	80 [%]		3/1/1/0		240 [s]
		3x5	80 [%]		1/0/1/0		240 [s]
		3x5	80 [%]		3/0/1/0		180 [s]
		5x5		1/0/1/2	180 [s]		

Pt	Rozgrzewka			Własna masa ciała		
	1. Przysiad ze sztangą	3x5	80 [%]		1/2/1/0	240 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x5	80 [%]		1/0/X/0	240 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x5	80 [%]		1/0/1/2	240 [s]
	4. Nordyckie uginanie	4x3		Własna masa ciała	3/0/1/0	180 [s]
III						
Pon	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	5x5	80 [%]		3/0/1/0	240 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x5	80 [%]		3/0/1/0	240 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x5	80 [%]		3/0/1/0	240 [s]
	4. Nordyckie uginanie	3x3		Własna masa ciała	4/0/1/0	180 [s]
Śr	Rozgrzewka					
	1. Martwy ciąg	3x5	80 [%]		3/1/1/0	240 [s]
	2. Przysiady bułgarskie	5x5	80 [%]		1/0/1/0	240 [s]
	3. Wspięcia na palce	3x5	80 [%]		3/0/1/0	180 [s]
	4. Brzuch (roller)	5x5		Własna masa ciała	1/0/1/2	180 [s]
Pt	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	3x5	80 [%]		1/2/1/0	240 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x5	80 [%]		1/0/X/0	240 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x5	80 [%]		1/0/1/2	240 [s]
	4. Nordyckie uginanie	5x3		Własna masa ciała	3/0/1/0	180 [s]
IV						
Pon	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	3x3	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x3	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x3	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	4. Nordyckie uginanie	3x3		Własna masa ciała	3/0/1/0	180 [s]
Śr	Rozgrzewka					

	1.Martwy ciąg	3x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/1/1/0	300 [s]
	2.Przysiady bułgarskie	3x5	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	3. Wspięcia na palce	3x5	85 [%]		3/0/1/0	180 [s]
	4. Brzuch (roller)	5x5			1/0/1/2	180 [s]
Pt	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	3x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/2/1/0	300 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x3	85 [%]		1/0/X/0	300 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x3	85 [%]		1/0/1/2	300 [s]
	4. Nordyckie uginanie	5x3			3/0/1/0	180 [s]
V	Rozgrzewka					
Pon	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	5x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/0/1/0	300 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x3	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x3	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	4. Nordyckie uginanie	3x3			3/0/1/0	180 [s]
Śr	Rozgrzewka					
	1.Martwy ciąg	3x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/1/1/0	300 [s]
	2.Przysiady bułgarskie	3x5	85 [%]		1/0/1/0	300 [s]
	3. Wspięcia na palce	3x5	85 [%]		3/0/1/0	180 [s]
	4. Brzuch (roller)	3x5			1/0/1/0	180 [s]
Pt	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	3x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/2/1/0	300 [s]
	2. Wyciskopodrzut	3x3	85 [%]		1/0/X/0	300 [s]
	3. Prostowanie bioder	3x3	85 [%]		1/0/1/2	300 [s]
	4. Nordyckie uginanie	3x3			3/0/1/0	180 [s]
VI	Rozgrzewka					
Pon	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	1x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/0/1/0	300 [s]
	2. Wyciskopodrzut	1x1	100 [%]		1/0/1/0	300 [s]

Śr	3. Prostowanie bioder	1x3	85 [%]	Własna masa ciała	1/0/1/0	300 [s]
	4. Nordyckie uginanie	1x5			1/0/1/0	180 [s]
	Rozgrzewka					
	1. Przysiady bułgarskie	3x5	85 [%]	1/0/1/0	300 [s]	
Pt	2. Wspięcia na palce	3x5	85 [%]	Własna masa ciała	1/0/1/0	180 [s]
	3. Brzuch (roller)	1x5			1/0/1/0	180 [s]
	Rozgrzewka					
	1. Przysiad ze sztangą	1x1	100 [%]	1/0/1/0	300 [s]	
	2. Martwy ciąg	1x1	100 [%]	1/0/1/0	300 [s]	
	3. Prostowanie bioder	1x1	100 [%]	1/0/1/0	300 [s]	

X: jak najszybsze tempo wykonania ruchu

2.7.2. Trening szybkościowy

SIT był wykonywany na cykloergometrach rowerowych (Monark, 834, Szwecja). Każdy trening składał się z rozgrzewki wzorowanej na protokole testu Wingate. Bezpośrednio po rozgrzewce mężczyźni wykonywali 15-sto sekundowe wysiłki sprinterskie o supramaksymalnej intensywności (all-out) z obciążeniem wynoszącym 7,5 % masy ciała. Przez pierwsze 2 tygodnie uczestnicy wykonywali cztery takie wysiłki supramaksymalne i następnie zwiększano liczbę powtórzeń o jeden wysiłek w sesji treningowej tygodniowo. Tak więc w trzecim tygodniu treningów były to 4 wysiłki supramaksymalne w jednej sesji treningowej, w czwartym tygodniu – 5 wysiłków, w piątym – 6 wysiłków a w ostatnim tygodniu treningów zmniejszono liczbę wysiłków do 4. Pomiędzy wysiłkami był 4 minutowy aktywny wypoczynek, w trakcie którego uczestnicy pedałowali z mocą 60 W.

2.7.3. Trening wytrzymałościowy

AIT miał intensywność submaksymalną, a intensywność wysiłku była indywidualnie dobrana względem VT I i VT II. Trening był wykonywany na cykloergometrach rowerowych (Wattbike, Wielka Brytania) w formie treningu interwałowego. Każdy trening trwał 60 min, składał się z 6-cio minutowej rozgrzewki z mocą przy VT I, następnie uczestnicy wykonywali 6-cio minutowy wysiłek z mocą przy VT II. Pomiędzy wysiłkami był aktywny wypoczynek trwający 3 minuty z mocą przy VT I (stosunek wysiłku do odpoczynku wynosił zatem 2:1).

Łącznie badani wykonali w trakcie 60 minut sześć takich serii, tj. 6 minuty wysiłku i 3 minuty aktywnego wypoczynku (jedna seria).

2.8. Analiza statystyczna

Dla każdej zmiennej obliczono średnią i odchylenie standardowe. Do przetestowania rozkładu danych użyto testu Shapiro-Wilka, a test Levene'a został wykorzystany do oceny jednorodności wariancji. Analiza wariancji (ANOVA) z powtarzanymi pomiarami lub jednoczynnikowa ANOVA została wykorzystana do wykrycia różnic między grupami, różnic między punktami testowymi (zmiana w czasie), określenia interakcji pomiędzy efektami głównymi oraz do oceny wielkości efektu (częściowe eta kwadrat - η^2). Wielkość efektu (η^2) interpretowano jako mały (0,01), średni (0,06) lub duży (0,14) (Cohen 2013). Jeśli wyniki ANOVA były istotne, do analizy post-hoc zastosowano test Fishera. Ponadto, jeśli wyniki analizy post hoc były istotne ($p < 0,05$), wielkość efektu (ES) została dodatkowo określona między wartością wyjściową a wartością po treningu przy użyciu d Cohena. ES interpretowano jako mały (0,20), średni (0,50) lub duży (0,80) (Cohen 2013). Do analizy statystycznej wykorzystano pakiet STATISTICA 13 (StatSoft, Inc., Stany Zjednoczone). Różnice uznano za istotne, gdy $p < 0,05$.

3. Wyniki badań

3.1. Analiza aktywności fizycznej uczestników badań

Badane grupy nie różniły się poziomem umiarkowanej, wysokiej i bardzo wysokiej aktywności fizycznej (tabela 5). Zaobserwowano natomiast różnice istotnie statystycznie w poziomie aktywności fizycznej o lekkiej intensywności (tabela 5) pomiędzy badanymi grupami ($f=7,47$; $p<0,001$; $\eta^2=0,28$). Największa liczba godzin spędzonych na lekkiej aktywności fizycznej była w grupie CON i była ona istotnie wyższa niż w ST ($p=0,03$), SIT ($p=0,01$) i AIT ($p<0,001$). Ponadto stwierdzono istotne różnice w liczbie godzin poświęconych na lekką aktywność fizyczną pomiędzy grupami SIT i AIT ($p<0,03$). Istotność różnic między pozostałymi grupami przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Tygodniowa aktywność fizyczna przed interwencją wśród badanych osób

Zmienna	Grupa	Przed	ANOVA	
			efekty główne	post-hoc
			Grupa f p ηp^2	p
Sen [godz]	CON	50,27±5,66	1,44 0,24 0,07	ST-SIT: 0,39
	ST	51,37±6,95		ST-CON: 0,64
	SIT	49,67±5,66		ST-AIT: 0,34
	AIT	53,83±7,05		SIT-CON: 0,72 SIT-AIT: 0,047 AIT-CON: 0,14
Lekka aktywność fizyczna [godz]	CON	117,63±7,57	7,56 <0,001 0,29	ST-SIT: 0,33
	ST	103,3±10,25		ST-CON: 0,03
	SIT	107,73±7,57		ST-AIT: 0,66
	AIT	101,3±7,86		SIT-CON: 0,01 SIT-AIT: 0,03 AIT-CON: <0,001
Umiarkowana aktywność fizyczna [godz]	CON	5,47±3,5	0,95 0,42 0,05	ST-SIT: 0,28
	ST	8,57±4,19		ST-CON: 0,94
	SIT	7,16±3,6		ST-AIT: 0,28
	AIT	7,03±2,99		SIT-CON: 0,21 SIT-AIT: 0,91 AIT-CON: 0,21
Wysoka aktywność fizyczna [godz]	CON	3,33±3,15	0,85 0,47 0,04	ST-SIT: 0,86
	ST	2,83±4,25		ST-CON: 0,72
	SIT	2,57±3,15		ST-AIT: 0,2
	AIT	4,47±2,26		SIT-CON: 0,57 SIT-AIT: 0,13 AIT-CON: 0,27
Bardzo wysoka aktywność fizyczna [godz]	CON	1,57±2,48	0,48 0,7 0,02	ST-SIT: 0,32
	ST	1,93±3,79		ST-CON: 0,76
	SIT	0,87±2,48		ST-AIT: 0,59
	AIT	1,37±1,37		SIT-CON: 0,36 SIT-AIT: 0,36 AIT-CON: 0,79
Całkowity wydatek energetyczny [kcal/tydzień]	CON	20804±3527,91	2,48 0,07 0,12	ST-SIT: 0,04
	ST	23179±5662,1		ST-CON: 0,26
	SIT	18744,75±3527,91		ST-AIT: 0,3
	AIT	21487,93±1898,26		SIT-CON: 0,1 SIT-AIT: 0,02 AIT-CON: 0,78

(CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)

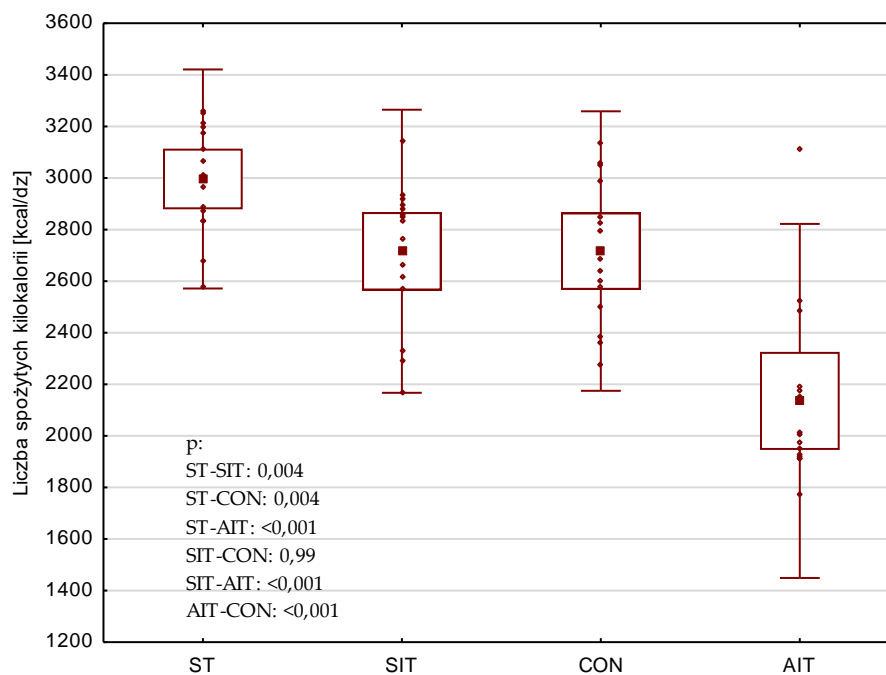
3.2. Analiza diety

Odnotowano istotne różnice w liczbie spożytych kilokalorii (tabela 6) pomiędzy badanymi grupami ($f=25,22$; $p<0,001$; $\eta^2=0,57$). Największe spożycie kilokalorii było w grupie ST i było istotnie wyższe niż w SIT ($p=0,004$), CON ($p=0,004$) i AIT ($p<0,001$) (rycina 4). Ponadto stwierdzono istotne różnice w liczbie spożytych kilokalorii pomiędzy grupami SIT i AIT ($p<0,001$) oraz AIT i CON ($p<0,001$). Zaobserwowano istotne różnice w liczbie spożytego białka (tabela 6) pomiędzy badanymi grupami ($f=24,24$; $p<0,001$; $\eta^2=0,56$), węglowodanów ($f=27,78$; $p<0,001$; $\eta^2=0,59$) oraz procentowej zawartości węglowodanów ($f=6,21$; $p=0,001$; $\eta^2=0,25$) i procentowej zawartości tłuszczu w diecie ($f=7,4$; $p<0,001$; $\eta^2=0,28$). Najwyższe spożycie białka było w grupie ST i było istotnie wyższe niż w SIT ($p<0,001$), CON ($p=0,004$) i AIT ($p<0,001$). (rycina 5). Najwyższe spożycie węglowodanów było w grupie ST i było istotnie wyższe niż w SIT ($p=0,001$), CON ($p=0,02$) i AIT ($p<0,001$) (rycina 6). Najwyższe spożycie tłuszczu było w grupie SIT, lecz było tylko istotne dla grupy AIT ($p<0,001$) (rycina 7). Pozostałe dane umieszczone są w tabeli 6.

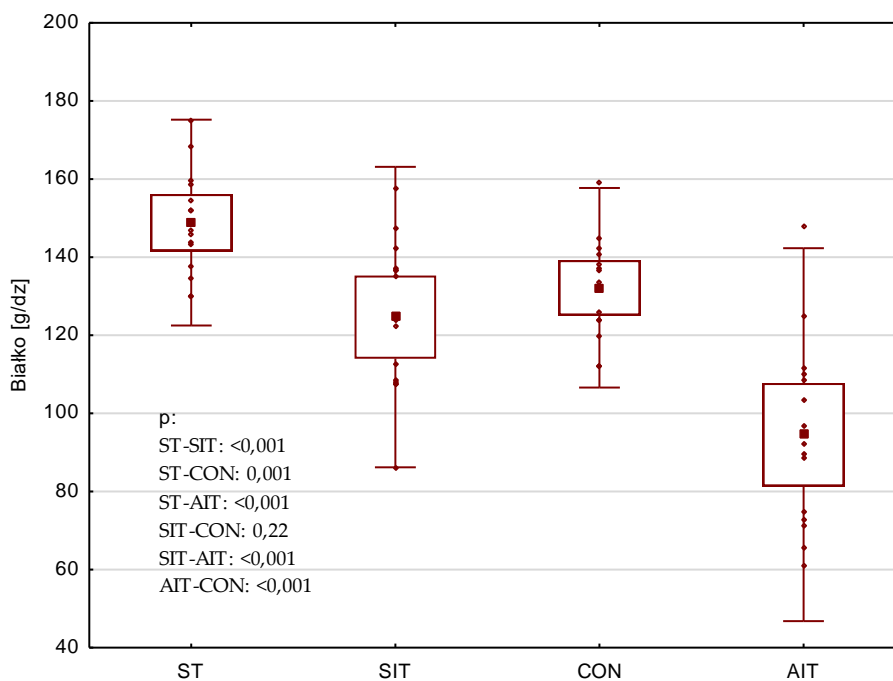
Tabela 6. Liczba spożytych kilokalorii oraz makroskładników wśród badanych osób w trakcie interwencji treningowej

Zmienna	Grupa	Przed	ANOVA	
			efekty główne	post-hoc
			Grupa f p η^2	P
Liczba spożytych kilokalorii [kcal/dz]	CON	2716,51±270,96	25,22 <0,001 0,57	ST-SIT: 0,004
	ST	2996,35±212,29		ST-CON: 0,004
	SIT	2715,85±274,47		ST-AIT: <0,001
	AIT	2135,75±343,17		SIT-CON: 0,99 SIT-AIT: <0,001 AIT-CON: <0,001
Białko [g/dz]	CON	132,16±12,78	24,24 <0,001 0,56	ST-SIT: <0,001
	ST	148,86±13,18		ST-CON: 0,001
	SIT	124,65±19,24		ST-AIT: <0,001
	AIT	95,54±23,88		SIT-CON: 0,22 SIT-AIT: <0,001 AIT-CON: <0,001
Węglowodany [g/dz]	CON	354,85±42,87	27,78 <0,001 0,59	ST-SIT: 0,001
	ST	407,61±69,68		ST-CON: 0,02
	SIT	339,16±26,91		ST-AIT: <0,001
	AIT	231,03±66,68		SIT-CON: 0,24 SIT-AIT: <0,001 AIT-CON: <0,001
Tłuszcze [g/dz]	CON	84,84±16,76	2,33 0,08 0,11	ST-SIT: 0,02
	ST	84,71±22,98		ST-CON: 0,99
	SIT	94,61±19,18		ST-AIT: 0,26
	AIT	76,31±16,23		SIT-CON: 0,15 SIT-AIT: <0,001 AIT-CON: 0,17
Białko [%/dz]	CON	19,33±1,72	0,41 0,75 0,02	ST-SIT: 0,23
	ST	19,6±0,63		ST-CON: 0,58
	SIT	18,73±2,66		ST-AIT: 0,52
	AIT	19,1±3,13		SIT-CON: 0,47 SIT-AIT: 0,75 AIT-CON: 0,77
Węglowodany [%/dz]	CON	52,27±4,41	6,21 0,001 0,25	ST-SIT: 0,07
	ST	54,47±7,94		ST-CON: 0,36
	SIT	50,27±3,47		ST-AIT: 0,002
	AIT	46,1±5,36		SIT-CON: 0,18 SIT-AIT: 0,02 AIT-CON: 0,002
Tłuszcze [%/dz]	CON	28,1±4,4	7,4 <0,001 0,28	ST-SIT: 0,04
	ST	25,93±8,01		ST-CON: 0,37
	SIT	31±4,1		ST-AIT: <0,001
	AIT	34,67±4,01		SIT-CON: 0,07 SIT-AIT: 0,02 AIT-CON: <0,001

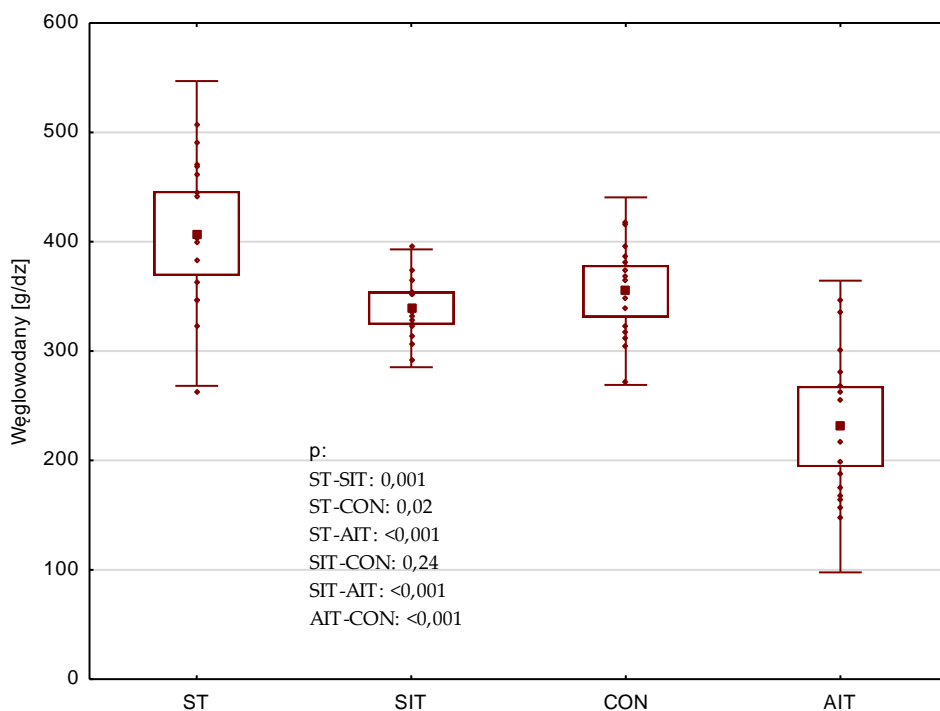
(CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



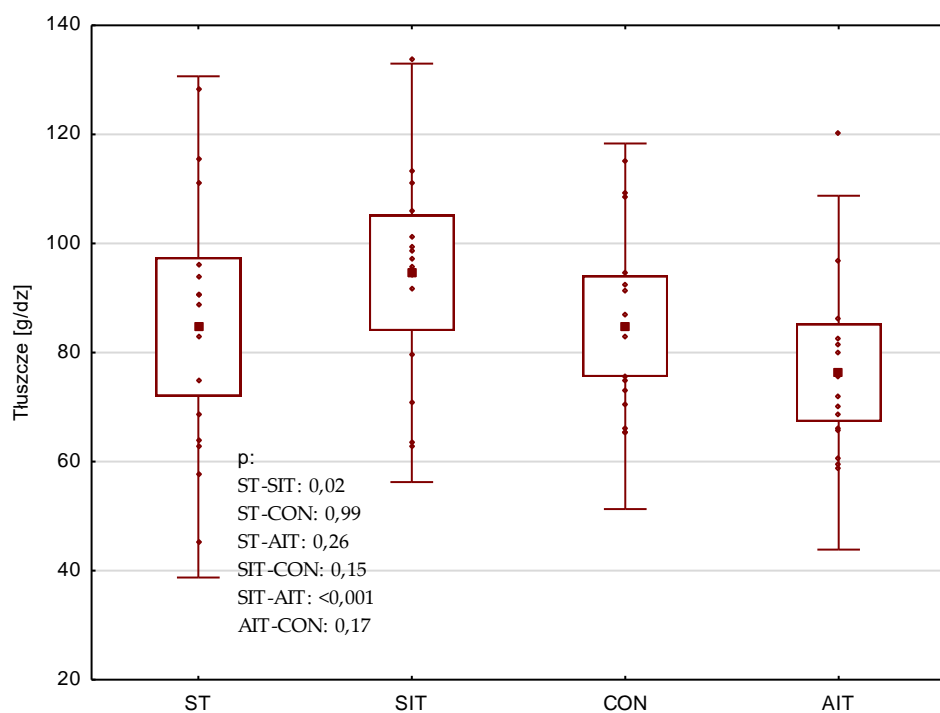
Rycina 4. Liczba spożytych kilokalorii według wydatku energetycznego w ciągu dnia podczas interwencji treningowej (Wąsy: odchylenie standardowe; Prostokąt: przedział ufności; Punkt środkowy: średnia wartość; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 5. Dzielne spożycie białka w poszczególnych grupach treningowych (Wąsy: odchylenie standardowe; Prostokąt: przedział ufności; Punkt środkowy: średnia wartość; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 6. Dzielne spożycie węglowodanów w poszczególnych grupach treningowych (Wąsy: odchylenie standardowe; Prostokąt: przedział ufności; Punkt środkowy: średnia wartość; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 7. Dzielne spożycie tłuszczu w poszczególnych grupach treningowych (Wąsy: odchylenie standardowe; Prostokąt: przedział ufności; Punkt środkowy: średnia wartość; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

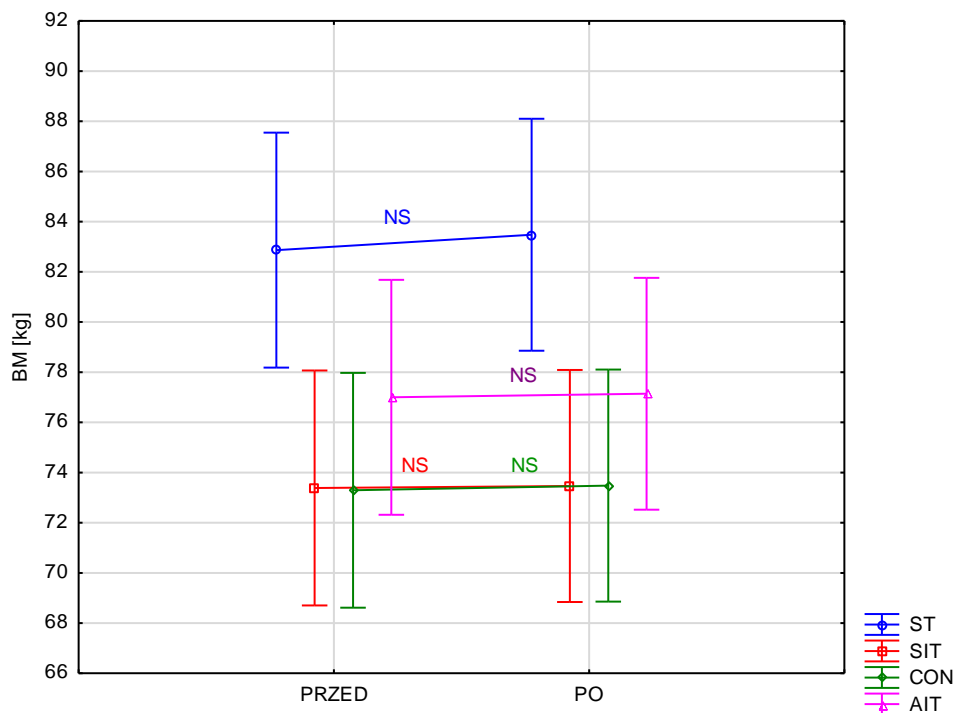
3.3. Zmiany w masie i składzie ciała badanych mężczyzn po treningu

W pozostałych grupach nie stwierdzono istotnych zmian w masie ciała po zastosowanej interwencji wysiłkowej (tabela 7). Nie odnotowano również zmian w BM (rycina 8) i PBF (rycina 10) pod wpływem treningu w żadnej z badanych grup (tabela 7). Stwierdzono istotne międzygrupowe różnice w LBM (rycina 9) wśród badanych osób ($f=3,14$; $p=0,003$; $\eta^2=0,14$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=2,9$; $p=0,04$; $\eta^2=0,13$). Analiza post-hoc wykazała, że jedynie w grupie ST nastąpiło istotne ($p=0,004$, $ES=0,12$) zwiększenie beztłuszczowej masy ciała (z $66\pm 6,8$ do $66,8\pm 7$ kg). Obserwowaną wielkość efektu należy uznać za niewielką.

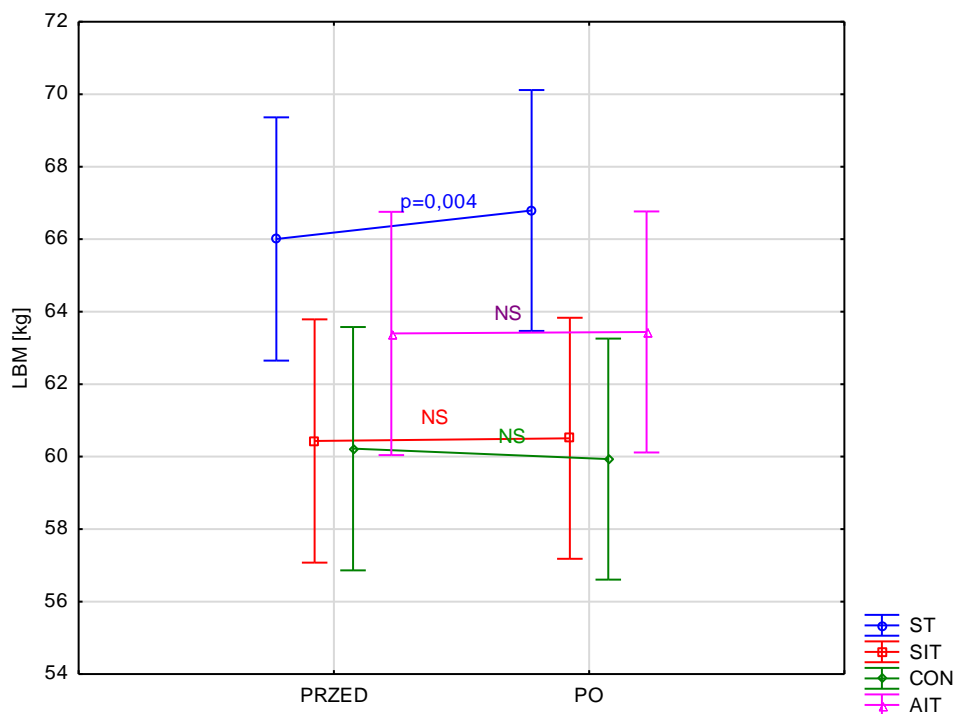
Tabela 7. Wiek oraz cechy somatyczne wśród badanych osób przed i po interwencji treningowej

Zmienna	Grupa	Przed	Po	ANOVA efekty główne			post-hoc przed vs. po	przed vs. po
				Grupa f p η^2	Czas f p η^2	Interakcja f p η^2	p	ES
Wiek [lata]	CON	22,8±1,7	-				-	-
	ST	22,4±3,2	-				-	-
	SIT	20,5±0,9	-	-	-	-	-	-
	AIT	20,6±1	-				-	-
BH [cm]	CON	178,1±7,1	-				-	-
	ST	179,7±4,3	-				-	-
	SIT	177,8±6,7	-	-	-	-	-	-
	AIT	180±5,7	-				-	-
BM [kg]	CON	73,3±9,2	73,5±9				0,58	0,02
	ST	82,9±8,3	83,5±8,4	3,96 0,01	2,26 0,14	0,51 0,68	0,08	0,07
	SIT	73,4±10	73,5±9,9	0,17	0,04	0,03	0,81	0,01
	AIT	77±8,6	77,1±8,4				0,68	0,01
LBM [kg]	CON	60,2±6,4	59,9±6,3				0,28	0,05
	ST	66±6,8	66,8±7	3,14 0,03	1,33 0,25	2,9 0,04	0,004	0,12
	SIT	60,4±6,6	60,5±6,3	0,14	0,023	0,13	0,78	0,02
	AIT	63,4±6,1	63,4±6,1				0,88	0,00
TBW [%]	CON	43,36±4,62	43,4±4,53				0,91	0,01
	ST	47,53±4,92	48,24±4,97	3,23 0,03	2,97 0,09	0,99 0,4	0,52	0,14
	SIT	43,3±4,68	43,64±4,61	0,15	0,05	0,05	0,34	0,07
	AIT	45,65±4,37	45,67±4,39				0,93	0,00
BFM [kg]	CON	13,1±4,3	13,5±4,5				-	-
	ST	16,9±4,5	16,6±4,9	2,24 0,09	0,3 0,58	0,88 0,46	-	-
	SIT	12,9±4,9	12,9±4,8	0,11	0,01	0,04	-	-
	AIT	13,6±4,1	13,7±4,6				-	-
PBF [%]	CON	17,6±4,3	18,1±4,6				-	-
	ST	20,3±4,5	19,8±4,9	1,18 0,33	0,07 0,79	1,67 0,18	-	-
	SIT	17,2±5,2	17,2±5,1	0,06	0,001	0,08	-	-
	AIT	17,4±3,9	17,5±4,5				-	-
BMI [kg/m ²]	CON	23,1±2,1	23,1±2,1				0,93	0,00
	ST	25,6±2,1	25,8±2,1	5,56	1,89	0,33	0,74	0,02
	SIT	22,7±2,3	22,8±2,3	0,002	0,17	0,8	0,9	0,04
	AIT	23,7±2,2	23,8±2,3	0,2	0,03	0,02	0,59	0,04

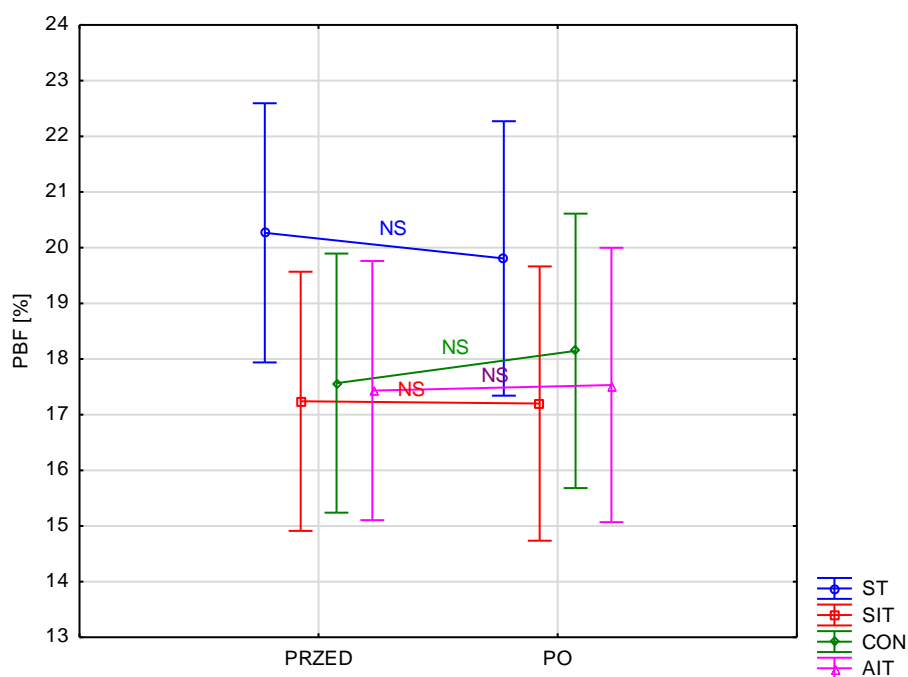
(BH: wysokość ciała; BM: masa ciała; LBM: beztłuszczowa masa ciała; TBW: całkowita zawartość wody; BFM: masa tkanki tłuszczowej; PBF: procentowa zawartość tkanki tłuszczowej, BMI: wskaźnik Queteleta II; CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 8. Zmiana masy ciała po interwencji treningowej (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 9. Zmiana beztłuszczowej masy ciała po interwencji treningowej (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 10. Zmiana procentowej ilości tkanki tłuszczowej po interwencji treningowej (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

3.4. Zmiany wydolności beztlenowej pod wpływem treningów

Trening z dominującym metabolizmem beztlenowym wpłynął istotnie na większość badanych wskaźników teście Wingate. Po SIT i ST odnotowano poprawę MP, PP oraz WSS (tabela 8). Ponadto, tylko po SIT dodatkowo poprawił się TTR-PP, natomiast pogorszeniu uległ FI. AIT istotnie poprawił jedynie PP (tabela 8).

Przeprowadzony trening wpłynął istotnie na całkowitą moc średnią ($f=15,1$; $p<0,001$; $\eta^2=0,21$) oraz relatywną ($f=8,06$; $p=0,006$; $\eta^2=0,12$) oraz odnotowano istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami (wartości absolutne: $f=4,07$; $p=0,01$; $\eta^2=0,18$; wartości relatywne: $f=2,86$; $p=0,04$; $\eta^2=0,13$). Analiza post-hoc wykazała, że zmiany MP (w wielkościach absolutnych i relatywnych) były istotne jedynie w grupie ST ($p=0,001$ i $ES=0,32$ oraz $p=0,04$ i $ES=0,29$, odpowiednio) oraz w grupie SIT ($p<0,001$ i $ES=0,28$ oraz $p=0,001$ i $ES=0,40$, odpowiednio) (rycina 11 i 12). Obserwowaną wielkość efektu w wartościach bezwzględnych i względnych w grupie ST i SIT należy uznać za małą.

Podobne zmiany pod wpływem treningu odnotowano w poziomie PP. Wykazano istotną zmianę po treningu absolutnych wielkości PP u badanych osób ($f=30,61$; $p<0,001$; $\eta^2=0,35$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=8,64$; $p=0,001$;

$\eta^2=0,32$). Analiza post-hoc wykazała, że raportowane zmiany wystąpiły w grupach ST ($p<0,001$; $ES=0,44$), SIT ($p<0,001$; $ES=0,36$) oraz AIT ($p=0,01$; $ES=0,24$) (rycina 13 i 14). Obserwowaną wielkość efektu w grupie ST i SIT należy uznać za umiarkowaną, a w grupie AIT za słabą.

Uzyskano istotne różnice w czasie w wielkościach TTR-PP u badanych osób ($f=9,02$; $p=0,004$; $\eta^2=0,14$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=2,91$; $p=0,04$; $\eta^2=0,13$). Analiza post-hoc wykazała, że zmiany te wystąpiły tylko w grupie SIT ($p<0,001$; $ES=0,97$) i polegały na istotnym skróceniu TTR-PP z $6,68\pm 1,29$ do $5,61\pm 0,92$ s.

Zaobserwowano istotne zmiany po treningu w FI % ($f=5,07$; $p=0,03$; $\eta^2=0,08$), w FI W/s ($f=13,16$; $p<0,001$; $\eta^2=0,19$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=2,85$; $p=0,04$; $\eta^2=0,13$). Analiza post-hoc wykazała, że w grupie SIT ($p=0,006$; $ES=0,51$) nastąpiło istotne zwiększenie FI z ($23,44\pm 6,09$ do $26,4\pm 5,6$ %) (rycina 15). Obserwowaną wielkość efektu w grupie SIT należy uznać za umiarkowaną i słabą. Podobnie kształtowały się zmiany FI wyrażone w W/s.

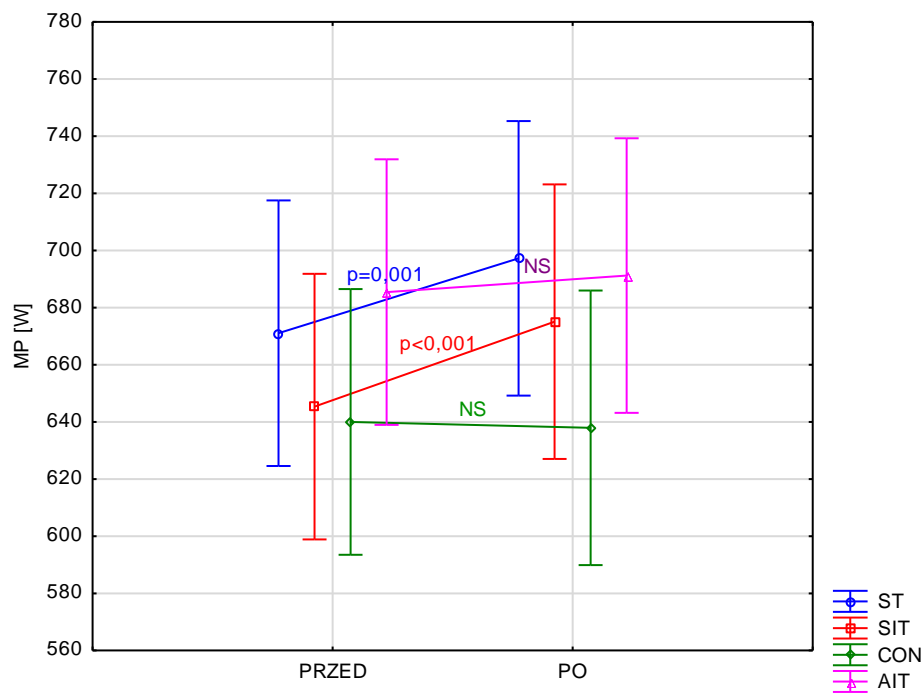
Dodatkowo stwierdzono istotne zmiany w czasie w WSS badanych osób ($f=20,51$; $p<0,001$; $\eta^2=0,27$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=4,33$; $p=0,008$; $\eta^2=0,19$). Analiza post-hoc wykazała, że w grupie ST ($p=0,002$; $ES=0,59$) nastąpiło istotne zwiększenie WSS (z $108,35\pm 22,98$ do $125,01\pm 33,17$ W/s) oraz w grupie SIT ($p<0,001$; $ES=0,78$) (z $95,78\pm 29,18$ do $120,63\pm 34,17$ W/s). Obserwowaną wielkość efektu w grupie ST i SIT należy uznać za umiarkowaną (tabela 8).

Tabela 8. Wyniki testu Wingate przed i po interwencji treningowej

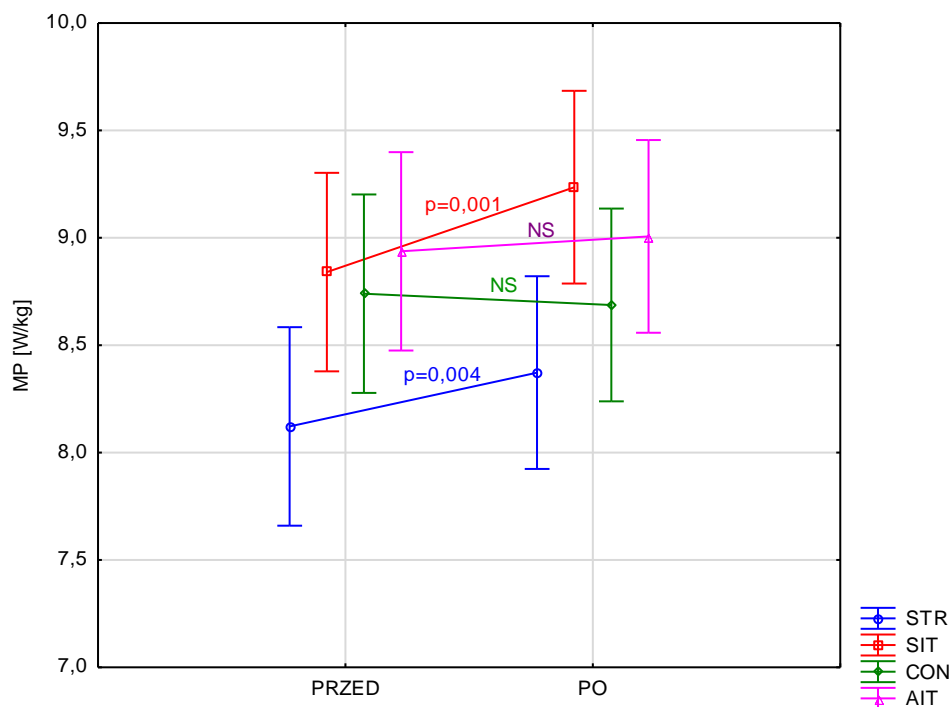
Zmienna	Grupa	Przed	Po	ANOVA efekty główne			post-hoc przed vs. po	przed vs. po
				Grupa f p η^2	Czas f p η^2	Interakcja f p η^2	p	ES
ML [kg]	CON	5,49±0,67	5,51±0,66				0,59	0,03
	ST	6,19±0,62	6,27±0,61	4,17	4,65	1,6	0,004	0,13
	SIT	5,47±0,75	5,47±0,75	0,01	0,03	0,2	0,79	0,00
	AIT	5,77±0,64	5,79±0,62	0,18	0,08	0,08	0,59	0,03
TW [J]	CON	19200,51± 2759,12	19071,93± 2528,66				-	-
	ST	20204,41± 2559,59	20917,71± 2364,83	1,22	0,06	0,7	-	-
	SIT	19360,8± 3088,13	18900,55± 5804,14	0,31	0,8	0,55	-	-
	AIT	20563,23± 2288,58	20736,39± 2665,63	0,06	0,001	0,04	-	-
MP [W]	CON	639,99±91,98	637,92± 92,94				0,79	0,02
	ST	671,06±86,19	697,25± 78,83	0,97	15,1	4,07	0,001	0,32
	SIT	645,36±102,95	675,09± 108,47	0,41	<0,001	0,01	<0,001	0,28
	AIT	685,44±76,29	691,22±8,85	0,05	0,21	0,18	0,45	0,07
MP [W/kg]	CON	8,74±0,72	8,69±0,75				0,65	0,07
	ST	8,12±0,96	8,37±0,76	2,67	8,06	2,86	0,04	0,29
	SIT	8,84±1,09	9,23±0,88	0,06	0,006	0,04	0,001	0,40
	AIT	8,94±0,75	9,01±1,05	0,12	0,12	0,13	0,55	0,08
PP [W]	CON	810,57±132,39	796,79±137,79				0,19	0,10
	ST	894,15±112,28	944,15±116,19	2,58	30,61	8,64	<0,001	0,44
	SIT	840,07±143,45	893,52±150,23	0,06	<0,001	<0,001	<0,001	0,36
	AIT	896,07±121,14	922,91±106,29	0,12	0,35	0,32	0,01	0,24
PP [W/kg]	CON	11,06±1,07	10,83±1,22				0,15	0,20
	ST	10,8±0,95	11,32±1,02	3,06	19,94	6,86	<0,001	0,53
	SIT	11,46±1,21	12,15±1,05	0,03	<0,001	<0,001	<0,001	0,61
	AIT	11,66±1,03	12,02±1,15	0,14	0,26	0,27	0,002	0,33
TTR-PP [s]	CON	6,14±0,9	6,19±0,83				0,86	0,06
	ST	6,16±0,7	5,82±1,47	0,3	9,2	2,91	0,22	0,31
	SIT	6,68±1,29	5,61±0,92	0,83	0,004	0,04	<0,001	0,97
	AIT	6,02±1,26	5,72±1,41	0,01	0,14	0,13	0,27	0,22
FI [%]	CON	21,61±6,69	20,39±4,46				0,24	0,22
	ST	25,97±4,79	27,45±5,87	3,28	5,07	2,85	0,16	0,28
	SIT	23,44±6,09	26,4±5,6	0,03	0,03	0,04	0,006	0,51
	AIT	24,02±5,94	25,42±4	0,15	0,08	0,13	0,18	0,28

FI [W/s]	CON	14,16±4,12	14,37±3,59	5,27 0,003 0,22	13,16 <0,001 0,19	1,42 0,25 0,07	0,73	0,05
	ST	18,79±3,08	19,92±3,25				0,07	0,36
	SIT	16,96±4,67	18,95±4,87				0,002	0,42
	AIT	16,8±4,09	17,9±1,99				0,08	0,36
TM-PP [s]	CON	4,38±0,91	4,3±0,98	3,79 0,01 0,17	4,01 0,05 0,07	0,47 0,7 0,02	0,7	0,08
	ST	3,66±0,83	3,35±0,76				0,16	0,39
	SIT	4,06±0,95	3,68±0,88				0,09	0,42
	AIT	3,64±0,92	3,54±0,54				0,65	0,14
WSS [W/s]	CON	93,45±26,03	94,31±22,75	2,34 0,08 0,11	20,51 <0,001 0,27	4,33 0,008 0,19	0,87	0,04
	ST	108,35±22,98	125,01±33,17				0,002	0,59
	SIT	95,78±29,18	120,63±34,17				<0,001	0,78
	AIT	115,54±39,67	120,7±27,62				0,33	0,15

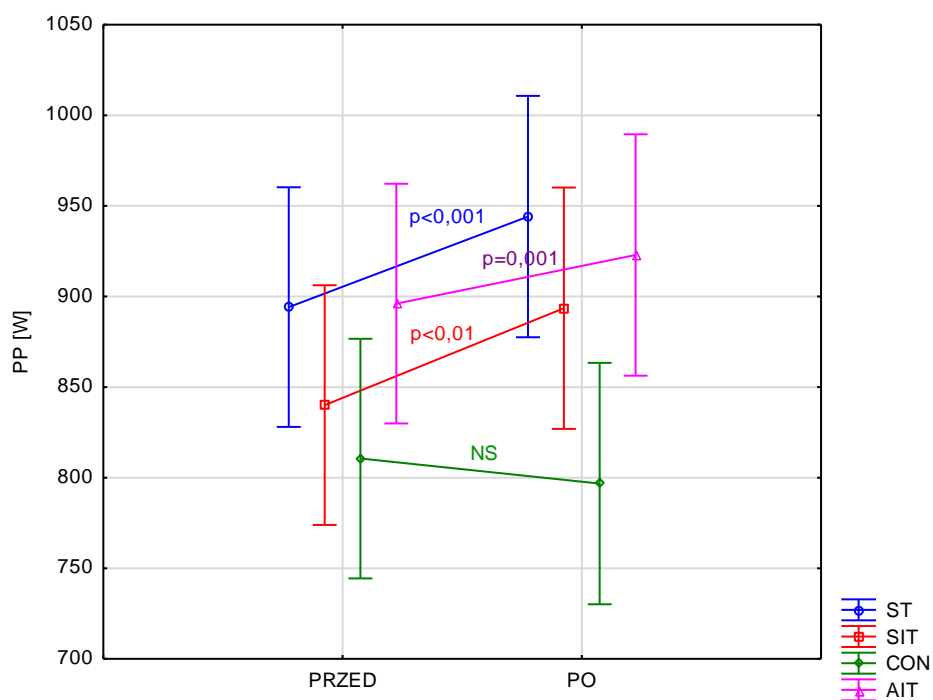
(ML: obciążenie; TW: praca całkowita; MP: moc średnia; PP: moc szczytowa; TTR-PP: czas uzyskania mocy szczytowej; FI: wskaźnik spadku od mocy szczytowej; TM-PP: czas utrzymania mocy szczytowej; WSS: wskaźnik siłowo-szybkościowy; CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



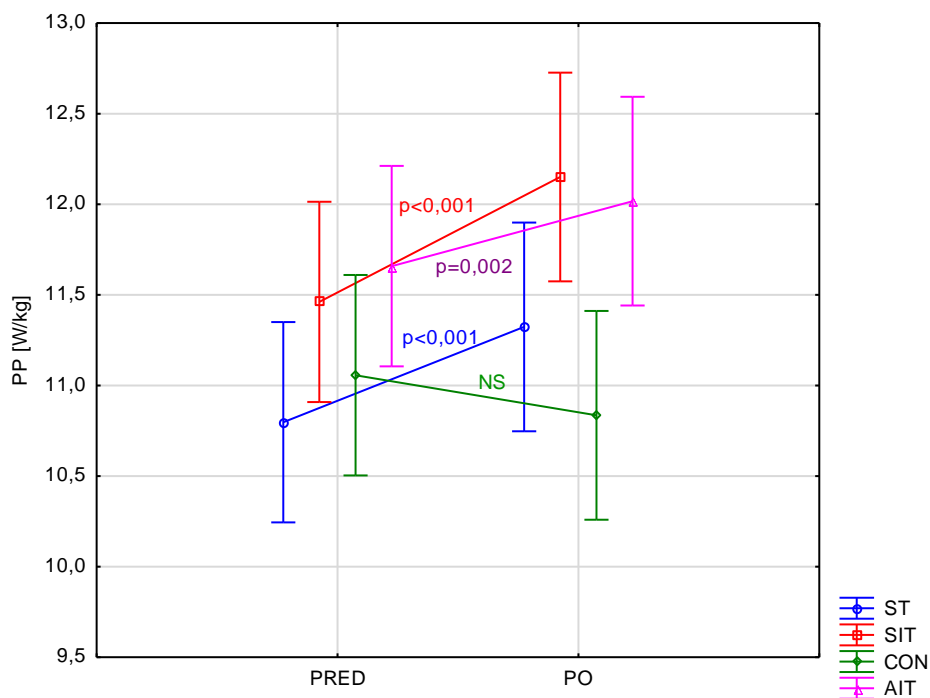
Rycina 11. Zmiany całkowitej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



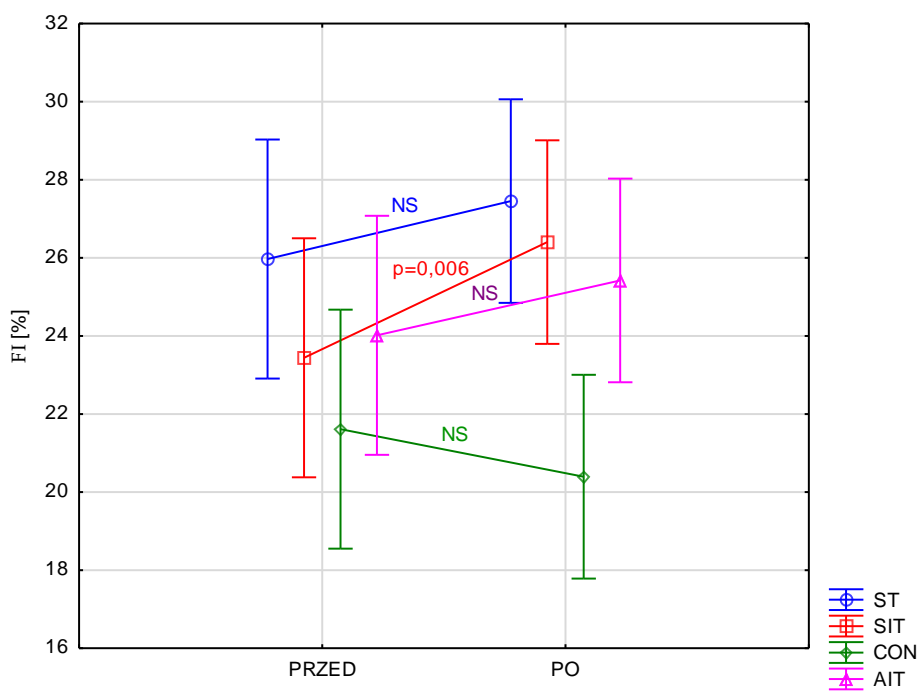
Rycina 12. Zmiany relatywnej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 13. Zmiany całkowitej mocy szczytowej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 14. Zmiany relatywnej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 15. Wpływ treningu na spadek mocy w teście Wingate (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

3.5. Zmiany wydolności tlenowej pod wpływem treningów

Wszystkie zastosowane metody treningu (SIT, ST, AIT) istotnie zwiększyły poziom mocy uzyskiwanej w teście stopniowanym oraz poziom absolutnych i relatywnych wielkości VO_{2max} (tabela 9).

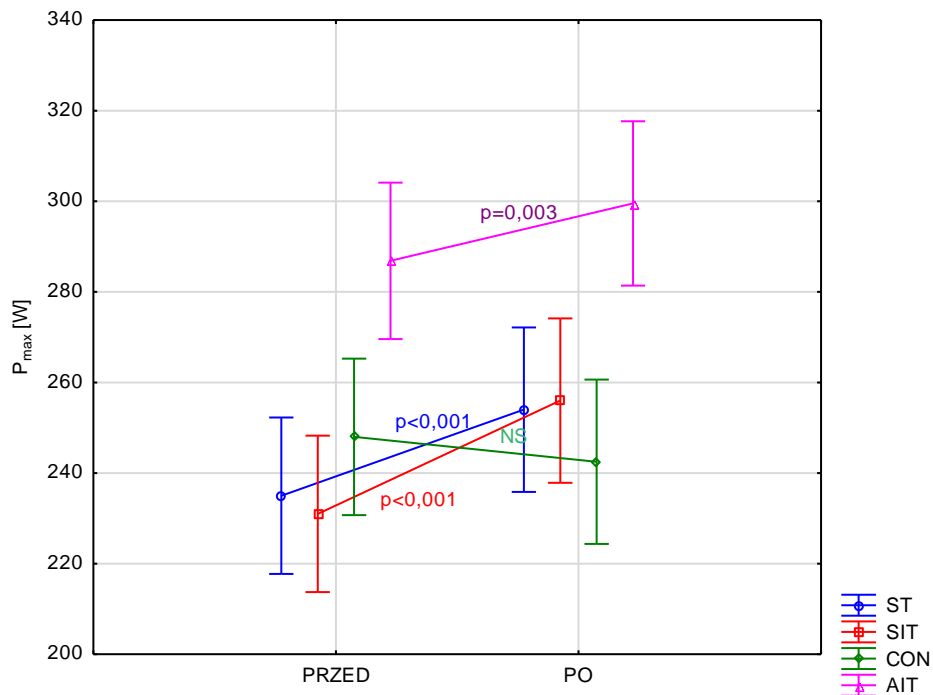
Całkowita moc maksymalna istotnie zmieniła się pod wpływem treningu ($f=39,34$; $p=0,01$; $\eta^2=0,41$) i odnotowano istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=10,46$; $p<0,001$; $\eta^2=0,36$). Analiza post-hoc wykazała istotne zwiększenie się P_{max} w grupie ST ($p<0,001$; $ES=0,52$), SIT ($p<0,001$; $ES=0,68$) oraz AIT ($p=0,003$; $ES=0,36$). Wielkość obserwowanego efektu w grupie ST, SIT należy uznać za umiarkowaną, a w grupie AIT za słabą. Wartości względne P_{max} również uległy znaczącemu zwiększeniu w grupie ST ($p<0,001$; $ES=0,05$), SIT ($p<0,001$; $ES=0,09$) oraz AIT ($p<0,001$; $ES=0,04$) (rycina 16 i 17).

Wyraźnej poprawie, istotnej statystycznie, uległa wydolność tlenowych trenujących mężczyzn ($f=23$; $p<0,001$; $\eta^2=0,29$); odnotowano również istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=3,58$; $p=0,02$; $\eta^2=0,16$). Analiza post-hoc wykazała, że we wszystkich trenujących grupach nastąpiło istotne zwiększenie absolutnych wielkości VO_{2max} w grupie ST ($p<0,001$; $ES=0,50$), SIT ($p=0,008$; $ES=0,39$) oraz AIT ($p=0,005$; $ES=0,55$). Zwiększenie maksymalnego poboru tlenu zwiększyło się w grupie ST z $3,06\pm 0,55$ do $3,34\pm 0,56$ L/min, w grupie SIT z $3,05\pm 0,45$ do $3,24\pm 0,52$ L/min i w grupie AIT z $3,58\pm 0,36$ do $3,78\pm 0,37$ L/min (rycina 19 i 20). Wielkość obserwowanego efektu w grupie ST, AIT należy uznać za umiarkowaną, a w grupie SIT za słabą. Podobnie zwiększyły się wielkości relatywne VO_{2max} : w grupie ST ($p=0,004$; $ES=0,35$), SIT ($p=0,003$; $ES=0,36$) oraz AIT ($p=0,006$; $ES=0,42$) (tabela 9).

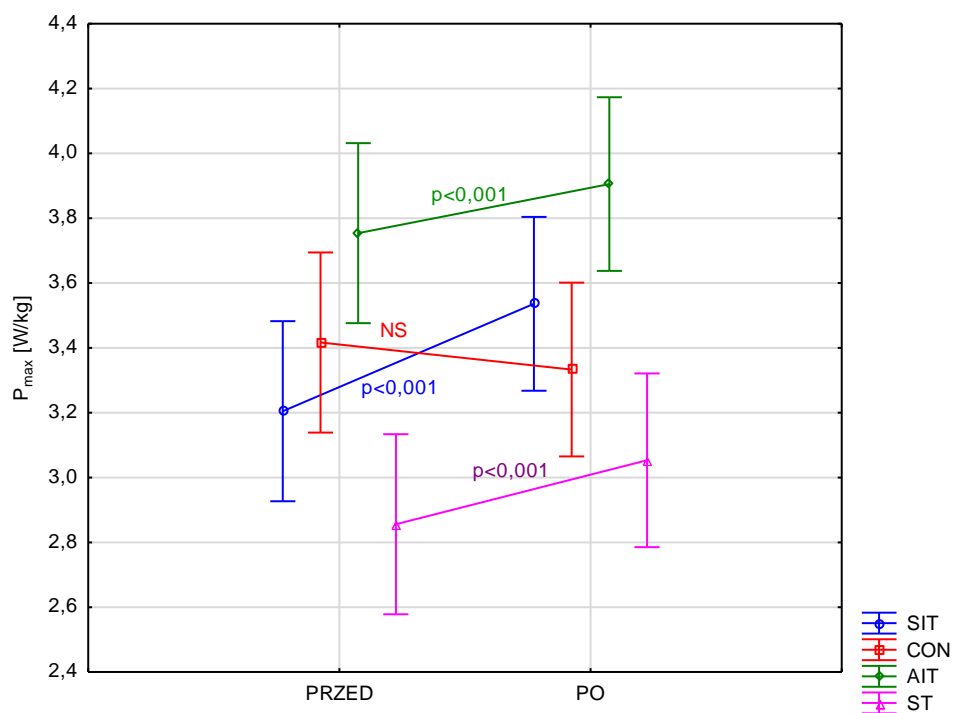
Tabela 9. Wyniki testu stopniowanego przed i po interwencji treningowej

Zmienna	Grupa	Przed	Po	ANOVA efekty główne			post-hoc przed vs. po	przed vs. po
				Grupa f p η^2	Czas f p η^2	Interakcja f p η^2	p	ES
P _{max} [W]	CON	248±27,84	242,5±28,44				0,18	0,20
	ST	235±33,86	254±38,75	8,05	39,34	10,46	<0,001	0,52
	SIT	231±37,41	256±36,4	<0,001	0,01	<0,001	<0,001	0,68
	AIT	286,87±33,69	299,53±35,84	0,3	0,41	0,36	0,003	0,36
P _{max} [W/kg]	CON	3,38±3,04	3,3±3,17				0,12	0,03
	ST	2,84±4,06	3,04±4,63	7,15	31,57	10,59	<0,001	0,05
	SIT	3,15±3,72	3,48±3,67	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,09
	AIT	3,72±3,93	3,88±4,25	0,28	0,36	0,36	<0,001	0,04
HR _{max} [sk/min]	CON	186,33±10,43	184,33±10,22				0,2	0,19
	ST	184,6±9,47	186±9,77	0,29	1,08	1,93	0,37	0,15
	SIT	186,47±9,63	189,6±7,31	0,83	0,3	0,14	0,05	0,37
	AIT	184,87±10,88	185,53±14,2	0,01	0,019	0,09	0,67	0,05
VO _{2max} [L/min]	CON	3,16±0,41	3,14±0,41				0,78	0,05
	ST	3,06±0,55	3,34±0,56	5,15	23	3,58	<0,001	0,50
	SIT	3,05±0,45	3,24±0,52	0,003	<0,001	0,02	0,008	0,39
	AIT	3,58±0,36	3,78±0,37	0,22	0,29	0,16	0,005	0,55
VO _{2max} [ml/kg/min]	CON	43,87±7,19	43,33±6,75				0,55	0,08
	ST	37,4±8,02	40,07±7,21	4,72	17,44	3,22	0,004	0,35
	SIT	41,93±7,19	44,73±8,18	0,005	<0,001	0,03	0,003	0,36
	AIT	46,93±5,91	49,47±6,09	0,2	0,24	0,15	0,006	0,42
RER	CON	1,18±0,09	1,14±0,09				0,04	0,44
	ST	1,19±0,08	1,16±0,09	4,34	8,43	1,51	0,07	0,38
	SIT	1,17±0,59	1,18±0,07	0,008	0,005	0,22	0,71	0,02
	AIT	1,12±0,05	1,08±0,07	0,19	0,13	0,07	0,03	0,80

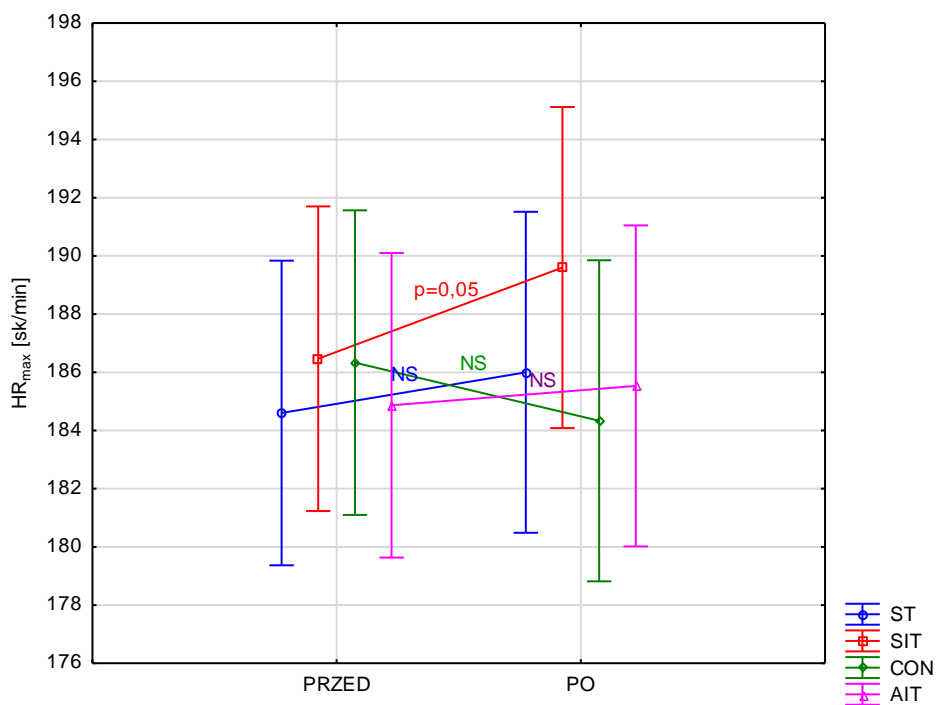
(P_{max}: moc maksymalna; HR_{max}: maksymalna częstość skurczów serca; VO_{2max}: maksymalny pobór tlenu; RER: współczynnik oddechowy; CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



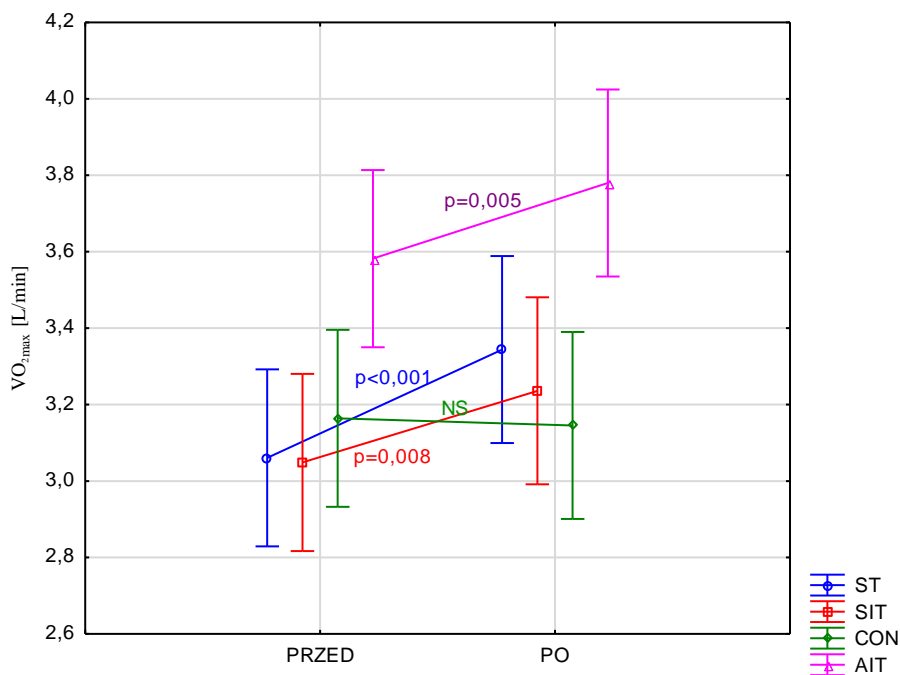
Rycina 16. Zmiany całkowitej mocy maksymalnej w teście stopniowanym pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



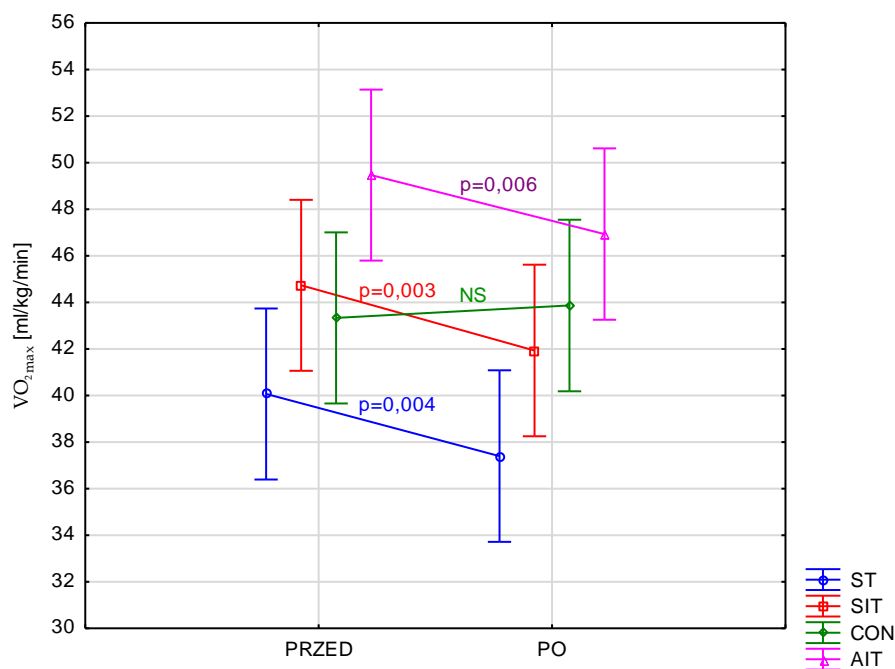
Rycina 17. Zmiany relatywnej mocy maksymalnej w teście stopniowanym pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 18. Zmiany maksymalnej częstości skurczów serca pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 19. Zmiany absolutnego maksymalnego minutowego poboru tlenu pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 20. Zmiany relatywnego maksymalnego minutowego poboru tlenu pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

3.6. Efekty treningów na poziom progów wentylacyjnych

Pierwszy próg wentylacyjny

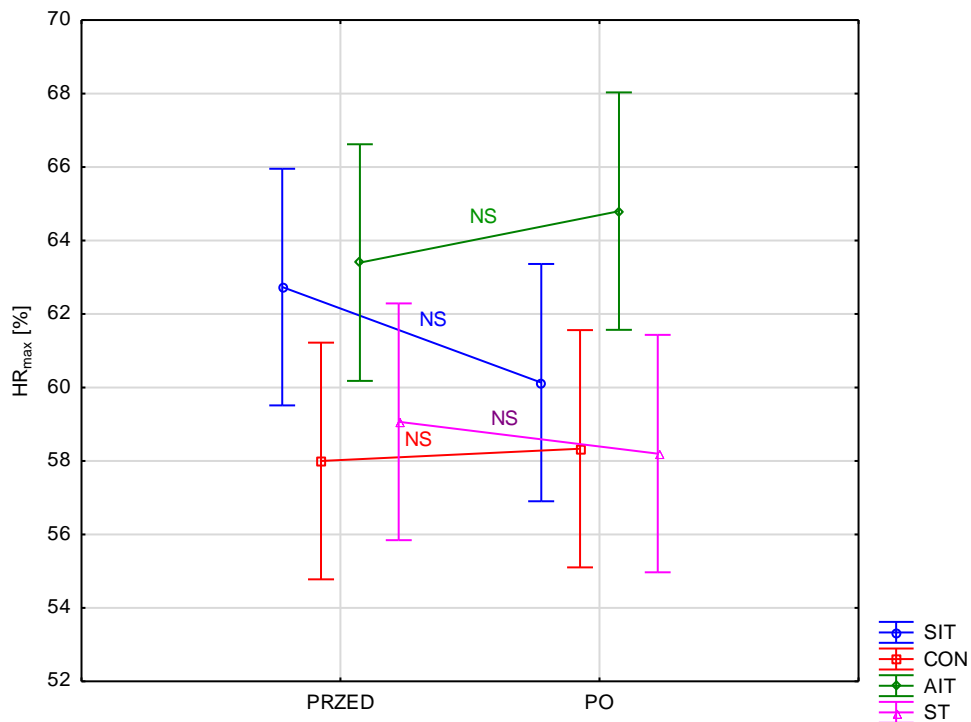
Jedynie trening wytrzymałościowy (AIT) istotnie wpłynął na zmianę niektórych parametrów mierzonych przy VT I. Po AIT odnotowano istotne zwiększenie mocy i globalnego poboru tlenu przy VT I (tabela 10). Analiza post-hoc ukazała, że w grupie CON ($p=0,01$; $ES=0,63$) nastąpiło istotne zmniejszenie mocy z $76\pm 22,3$ do $62\pm 7,74$ W, a w grupie AIT ($p<0,001$; $ES=0,98$) nastąpiło istotne jej zwiększenie z $71,07\pm 18,22$ do $92,33\pm 25,32$ W. W konsekwencji, w podobny sposób zmienił się % P_{max} przy VT I.

Wykazano istotną zmianę globalnego VO_2 na poziomie VT I pod wpływem treningu ($f=5,76$; $p=0,02$; $\eta^2=0,09$) oraz istotną interakcję pomiędzy badanymi czynnikami ($f=5,56$; $p=0,002$; $\eta^2=0,23$). Analiza post-hoc wykazała, że w grupie AIT ($p<0,001$; $ES=1,23$) nastąpiło istotne zwiększenie VO_2 z $1,24\pm 0,2$ do $1,51\pm 0,24$ L/min (rycina 22). Obserwowaną wielkość efektu w grupie AIT należy uznać za silną. Zwiększenie się poboru tlenu przy VT I w grupie AIT przełożyło się na istotnie zwiększenie intensywności pracy w grupie AIT, wyrażonej jako % VO_{2max} (tabela 10).

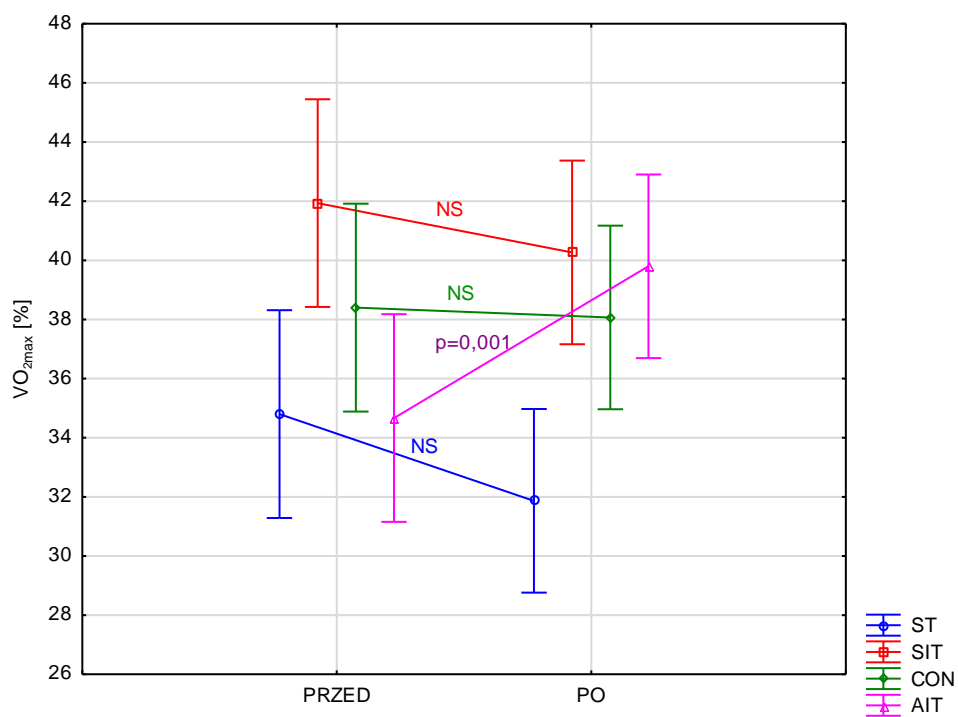
Tabela 10. Zmiany badanych wskaźników na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn

Zmienna	Grupa	Przed	Po	ANOVA efekty główne			post-hoc przed vs. po	przed vs. po
				Grupa f p η^2	Czas f p η^2	Interakcja f p η^2	p	ES
P [W]	CON	76±22,3	62±7,74				0,01	0,63
	ST	60±0	60±0	6,02	0,43	6,97	1,0	0,00
	SIT	72±24,84	72±18,97	0,001	0,51	<0,001	1,0	0,00
	AIT	71,07±18,22	92,33±25,32	0,24	0,007	0,27	<0,001	0,98
P [W/kg]	CON	0,67±0,28	0,67±0,25				0,99	0,00
	ST	0,73±0,07	0,72±0,07	4,92	0,27	0,17	0,98	0,14
	SIT	0,57±0,32	0,52±0,33	0,004	0,6	0,92	0,87	0,15
	AIT	1,44±2,18	1,21±0,32	0,21	0,005	0,009	0,39	0,18
P _{max} [%]	CON	31,27±10,71	25,93±3,88				0,009	0,73
	ST	26,13±4,17	24,13±4,15	1,80	1,06	6,25	0,31	0,48
	SIT	31,4±8,9	28,6±7,64	0,16	0,31	<0,001	0,16	0,34
	AIT	24,87±6,05	30,93±7,52	0,09	0,02	0,25	0,003	0,89
HR [sk/min]	CON	107,8±8,98	107,67±10,19				0,96	0,01
	ST	109,4±13,02	108,33±12,7	2,86	0,02	0,87	0,7	0,08
	SIT	117±16,83	114,07±13,68	0,04	0,88	0,46	0,29	0,19
	AIT	117,13±10,53	120,4±17,51	0,13	0,0004	0,04	0,24	0,23
HR _{max} [%]	CON	58±5,24	58,33±4,22				0,82	0,07
	ST	59,07±6,3	58,2±6,2	3,7	0,34	1,34	0,56	0,14
	SIT	62,73±7,78	60,13±7,16	0,02	0,56	0,27	0,08	0,35
	AIT	63,4±5,25	64,8±6,96	0,16	0,006	0,07	0,35	0,23
VO ₂ [L/min]	CON	1,2±0,24	1,19±0,12				0,81	0,06
	ST	1,05±0,18	1,05±0,15	8,63	5,76	5,56	0,97	0,00
	SIT	1,26±0,24	1,28±0,27	<0,001	0,02	0,002	0,72	0,08
	AIT	1,24±0,2	1,51±0,24	0,32	0,09	0,23	<0,001	1,23
VO ₂ [ml/kg/min]	CON	16,39±26,05	16,16±13,33				0,99	0,01
	ST	12,71±21,49	12,59±18,29	1,00	0,99	1,00	0,99	0,01
	SIT	17,19±23,64	17,46±27,52	0,39	0,32	0,39	0,05	0,01
	AIT	16,06±22,91	19,56±28,43	0,05	0,01	0,05	0,99	0,14
VO _{2max} [%]	CON	38,4±7,68	38,07±3,88				0,83	0,06
	ST	34,8±5,32	31,87±5,77	4,79	0,004	5,37	0,06	0,53
	SIT	41,93±8,4	40,27±8,52	0,005	0,95	0,002	0,28	0,20
	AIT	34,67±5,15	39,8±4,81	0,2	<0,001	0,22	0,001	1,03

(P: moc; P_{max}: moc maksymalna; HR: częstość skurczów serca; HR_{max}: maksymalna częstość skurczów serca; VO₂: minutowy pobór tlenu; VO_{2max}: maksymalny pobór tlenu; CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 21. Zmiany intensywności pracy (% HR_{max}) na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 22. Zmiany intensywności pracy (% VO_{2max}) na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

Drugi próg wentylacyjny

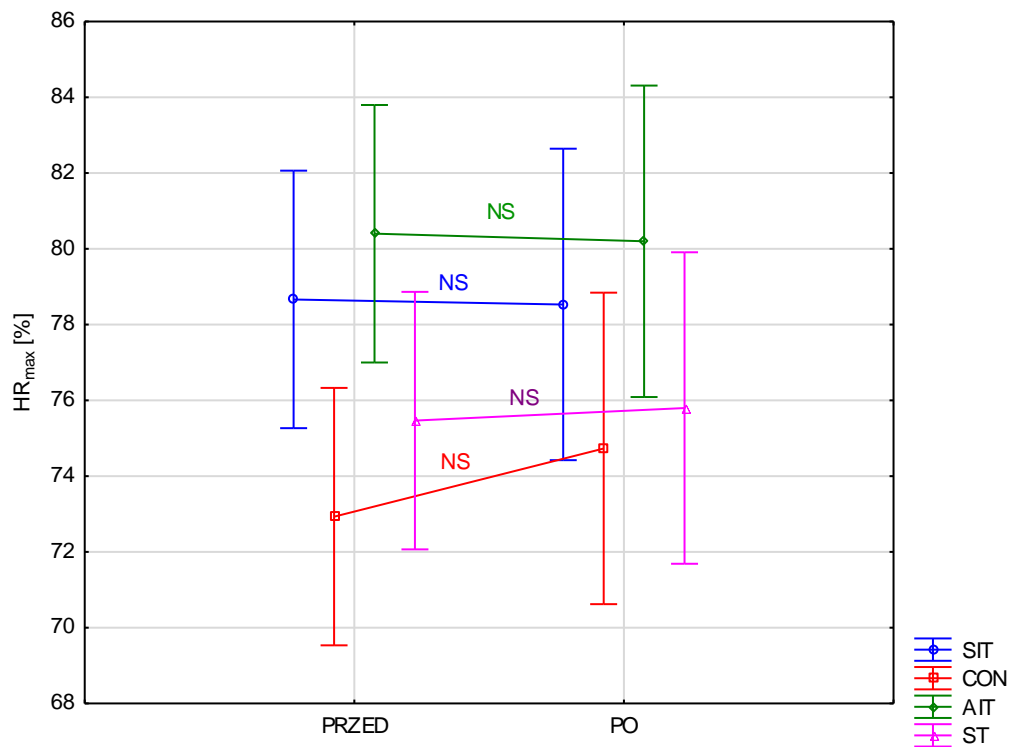
Zastosowany trening nie wpłynął istotnie w żadnej z grup na poziom mocy przy VT II ($f=2.45$, $p=0.12$, $\eta^2=0.04$). Jedyną istotną zmianą w grupie AIT ($p<0,04$; $ES=1,23$) było istotne zwiększenie VO_2 ml/kg/min (rycina 24) i był to umiarkowany efekt (tabela 11)

Tabela 11. Zmiany badanych wskaźników na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn

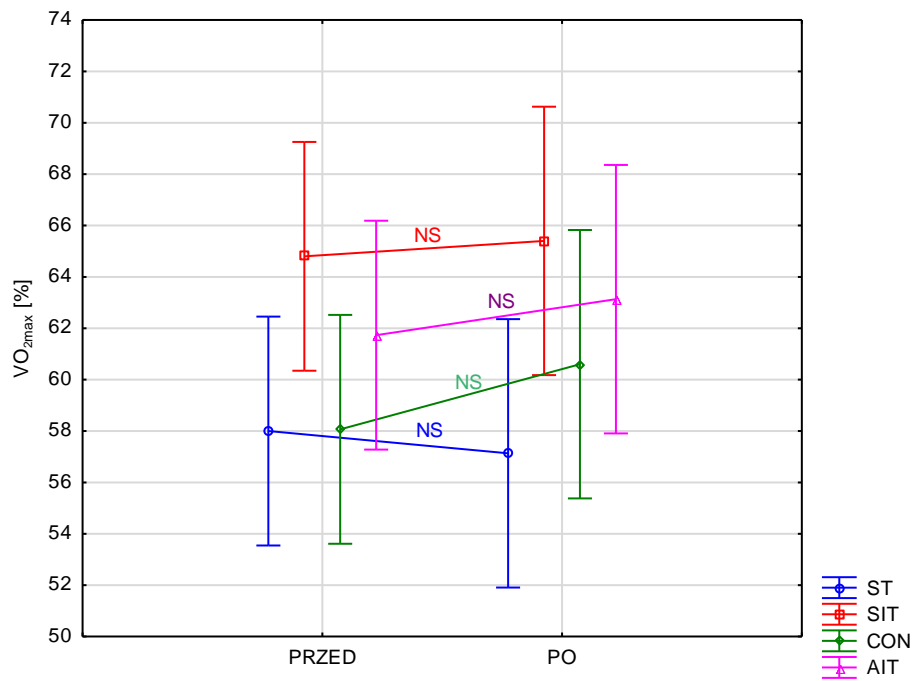
Zmienna	Grupa	Przed	Po	ANOVA efekty główne			post-hoc przed vs. po	przed vs. po
				Grupa f p η^2	Czas f p η^2	Interakcja f p η^2	p	ES
P [W]	CON	136±19,42	136±26,1	<0,001	2,45	0,41	1,00	0,00
	ST	130±37,03	134±33,76				0,62	0,11
	SIT	146±37,38	154±37,38				0,32	0,21
	AIT	164,93±19,42	175,53±26,08				0,19	0,47
P [W/kg]	CON	1,89±0,37	1,89±0,37	0,004	1,59	0,026	0,97	0,00
	ST	1,59±0,54	1,63±0,47				0,72	0,08
	SIT	2,03±0,62	2,12±0,55				0,36	0,15
	AIT	2,17±0,37	2,3±0,38				0,2	0,35
P _{max} [%]	CON	54,7±8,62	56,7±8,2	0,08	0,1	0,58	0,51	0,24
	ST	55,33±13,12	52,6±10,46				0,39	0,23
	SIT	62,63±7,51	60,8±14,14				0,57	0,17
	AIT	58,07±8,62	59±8,2				0,77	0,11
HR [sk/min]	CON	136,8±13,2	137,3±16,65	0,06	0,34	0,08	0,87	0,03
	ST	139,33±14,39	141,2±16,15				0,56	0,12
	SIT	147±15,9	148,53±16,56				0,63	0,09
	AIT	148,93±13,19	148,8±16,65				0,97	0,01
HR _{max} [%]	CON	72,93±6,21	74,73±6,25	0,14	0,26	0,28	0,31	0,29
	ST	75,47±7,35	75,8±7,93				0,85	0,04
	SIT	78,67±7,12	78,53±9,25				0,94	0,02
	AIT	80,4±6,22	80,2±6,25				0,91	0,03
VO ₂ [L/min]	CON	1,84±0,26	1,87±0,33	<0,001	7,55	0,59	0,72	0,10
	ST	1,78±0,42	1,89±0,38				0,23	0,28
	SIT	1,95±0,4	2,1±0,39				0,15	0,38
	AIT	2,19±0,26	2,38±0,33				0,05	0,64

VO ₂ [ml/kg/ min]	CON	25,6±4,54	25,37±5,52	5,38 0,002	4,97 0,03	0,97 0,41	0,84 0,31	0,05 0,18
	ST	21,79±6,51	22,9±5,72					
	SIT	27,17±6,91	28,93±6,12					
	AIT	28,72±4,54	31,2±5,52					
VO _{2max} [%]	CON	58,1±10,1	60,6±8,5	2,63 0,06	0,51 0,48	0,31 0,82	0,33 0,75	0,27 0,10
	ST	58±8,63	57,13±9,57					
	SIT	64,8±8,05	65,4±11,11					
	AIT	61,73±10,07	63,13±8,5					

(P: moc; P_{max}: moc maksymalna; HR: częstość skurczów serca; HR_{max}: maksymalna częstość skurczów serca; VO₂: minutowy pobór tlenu; VO_{2max}: maksymalny pobór tlenu; CON: grupa kontrolna; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 23. Zmiany intensywności pracy (% HR_{max}) na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotne statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)



Rycina 24. Zmiany intensywności pracy (% VO_{2max}) na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn (NS: nieistotnie statystycznie; ST: trening siłowy; SIT: trening sprinterski; CON: grupa kontrolna; AIT: trening wytrzymałościowy)

4. Dyskusja

W niniejszej pracy oceniono, czy różne formy treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym będą równie efektywne w poprawie wydolności tlenowej i wytrzymałości oraz wydolności beztlenowej. W treningu zastosowano trening siłowy, interwałowy trening sprinterski oraz aerobowy trening interwałowy, jako punkt odniesienia. Na podstawie przeglądu piśmiennictwa, przyjęto hipotezę, że obie formy treningu beztlenowego mogą być równie skuteczne w poprawie wydolności fizycznej, jak tradycyjny aerobowy trening interwałowy. Ponadto, oceniono efekty zastosowanych różnych form treningów na skład ciała badanych mężczyzn. Uzyskane dane częściowo potwierdzają przyjętą hipotezę.

Zarówno treningi o charakterze beztlenowym (SIT i ST), jak również aerobowy trening interwałowy, okazały się skuteczne w poprawie maksymalnego poboru tlenu. Wykazano, że we wszystkich trenujących grupach nastąpiło istotne zwiększenie absolutnych wielkości VO_{2max} , a wielkość efektu była porównywalna w grupie ST ($p < 0,001$; $ES = 0,50$), SIT ($p = 0,008$; $ES = 0,39$) oraz AIT ($p = 0,005$; $ES = 0,55$). Ponadto, wszystkie trzy metody treningu spowodowały istotne zwiększenie się maksymalnej mocy uzyskiwanej w teście stopniowanym. Co ciekawe, wielkość odnotowanego efektu była większa w grupach wykonujących trening o charakterze beztlenowym: w grupach ST, SIT był on umiarkowany, a w grupie AIT słaby. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowany trening beztlenowy (sprinterski i siłowy), był co najmniej równie skuteczny w poprawie wskaźników mierzonych w teście stopniowanym, jak interwałowy trening aerobowy. Jednakże, treningi beztlenowe wywołały jedynie istotne zmiany badanych wskaźników na poziomie maksymalnej intensywności (P_{max} i VO_{2max}), natomiast nie wpłynęły na ich submaksymalny poziom tj. na poziomie pierwszego i drugiego progu wentylacyjnego. Jedynie trening o charakterze tlenowym, wywołał zmiany tych parametrów: zwiększenie mocy i VO_2 na poziomie VT I oraz VO_2 na poziomie VT II. Można zatem wnioskować, że treningi o charakterze beztlenowym nie wpłynęły istotnie na zdolności wytrzymałościowe oceniane za pomocą progów wentylacyjnych. Wyniki niniejszych badań są spójne z opublikowanymi wcześniej badaniami (Buchan i wsp. 2011, Buchheit i wsp. 2010, Farzad i wsp. 2011, Iaia i wsp. 2011, Kim i wsp. 2011, Macpherson i wsp. 2011), w których wykazano zwiększenie maksymalnego poboru tlenu po treningu beztlenowym.

Zasadniczą różnicą pomiędzy treningiem AIT i HIIT jest intensywność wysiłku. Trening AIT był treningiem tlenowo-beztlenowym, natomiast trening HIIT treningiem beztlenowo-tlenowym o maksymalnej lub submaksymalnej intensywności powyżej progu

beztlenowego. Trening SIT jest z kolei rodzajem treningu anaerobowego o supramaksymalnej intensywności. Po przekroczeniu progu beztlenowego dochodzi do kumulacji mleczanu oraz obniżenia zdolności wysiłkowych (Billat i wsp. 2003, Poole i wsp. 1985 i Sjödín i wsp. 1981). Różnicą między treningami AIT, SIT a ST jest przede wszystkim stosowany opór zewnętrzny w formie wolnych obciążeń lub maszyn oraz technika wykonania ćwiczeń. Dobór obciążeń w treningu ST nie opiera się na wskaźnikach układu krążeniowego lub oddechowego, tylko na ciężarze zewnętrznym, prędkością wykonania ruchu, itd. ST jest treningiem beztlenowym, oddziałującym na układ nerwowy oraz mięśniowy m.in. poprzez aktywację jednostek motorycznych (Aagaard 2003, Conwit i wsp. 1999) oraz zwiększenie przekroju fizjologicznego mięśni (Jones i wsp. 2008). Jego wpływ na zdolności wytrzymałościowe wynika najprawdopodobniej z poprawy ekonomii ruchu (Heggelund i wsp. 2013, Loveless i wsp. 2005, Østerås i wsp. 2002, Rønnestad i wsp. 2015, Sunde i wsp. 2010, Støren i wsp. 2008). Innym mechanizmem, w którym upatruje się usprawnienia procesów tlenowych w efekcie treningów beztlenowych o wysokiej intensywności, jest wywołanie na skutek ciężkiego wysiłku, dużego długu tlenowego. Spłacanie powysiłkowego długu tlenowego może sprzyjać usprawnieniu mechanizmów zaopatrzenia tlenowego. McKenna i wsp. (1997) sugerują, że podczas aktywnej przerwy między seriami głównymi (all-out) dochodzi do zwiększonego zużycia tlenu. Moniz i wsp. (2020) wykazali, że dług tlenowy po intensywnym wysiłku sprinterskim, jest większy, niż po treningu tlenowym o umiarkowanej intensywności, co przekłada się na zwiększony całkowity wydatek energetyczny takiego wysiłku.

Niniejsze badania potwierdzają wcześniejsze doniesienia (Bailey i wsp. 2009, Bayati i wsp. 2011, Foster i wsp. 2015 oraz Nicholas i wsp. 2013), w których wykazano, że SIT może być skuteczną formą treningu mającą na celu poprawić wydolność aerobową organizmu, jednak przy jak mniejszym zaangażowaniu czasowym osoby trenującej. Foster i wsp. (2015) porównując efekty interwałowego treningu sprinterskiego oraz treningu wytrzymałościowego o ciągłym czasie trwania wykazali, że trening beztlenowy jest w stanie istotnie poprawić wytrzymałość w podobnym stopniu jak trening typowo tlenowy. W badaniu tym, oceniono skuteczność treningu o charakterze beztlenowo-tlenowym, przeprowadzonego w grupie 55 niewytrenowanych osób, które przez 8 tygodni z częstotliwością 3x w tygodniu, wykonywały zaleconą aktywność fizyczną. Zaobserwowano, że trening o charakterze szybkościowo-interwałowym istotnie zwiększył u badanych osób poziom maksymalnego poboru tlenu o 18 %. W kolejnym badaniu Bailey i wsp. (2009) wykazano, że protokół SIT,

oparty na wysiłku podobnym jak w teście Wingate, również wpływa na poprawę wydolności aerobowej organizmu. Badanie to różniło się od poprzedniego tym, że uczestnicy wykonali jedynie 6 jednostek treningowych w ciągu dwóch tygodni. Pomimo krótkiego okresu treningowego, zaobserwowano istotny wzrost VO_{2peak} . Badanie przeprowadzone przez Bayati i wsp. (2011) udowodniło, że supramaksymalny trening interwałowy trwający 4 tygodnie, z częstotnością 3x w tygodniu również poprawia wydolność tlenową. Grupa uczestników była podzielona na dwie grupy: jedna wykonywała 30 s wysiłki z intensywnością (all-out) z przerwami 4 min; druga grupa ćwiczyła z intensywnością 125 % P_{max} , określonej w teście stopniowanym. W obu grupach odnotowano przyrost VO_{2max} po przeprowadzonej interwencji treningowej, odpowiednio o 9,6 % i 9,7 %. Oba protokoły treningowe, choć różniące się intensywnością, przyczyniły się zatem do zwiększenia w podobny sposób wydolności tlenowej. Wyniki tych badań, mogą wskazywać, że kluczowa jest duża intensywność wysiłku podczas treningu, która musi mieć intensywność najmniej maksymalną. Podobną intensywność pracy wykorzystano w niniejszym badaniu, w którym uczestnicy wykonywali podczas SIT supramaksymalne wysiłki (all-out).

Z drugiej strony, wyniki badań własnych są w sprzeczności z badaniem przeprowadzonym przez Kim i wsp. (2011), w których wykazano, że trening o wysokiej intensywności nie poprawił wydolności tlenowej wśród osób zawodowo uprawiających judo. Dane te wskazują, że efekty treningu z przeważającym metabolizmem mogą być różne u osób wytrenowanych i niewytrenowanych. W niniejszym badaniu uczestnikami były osoby nieuprawiające wyczynowo sportu. Autorzy wskazują, że przyczyną braku poprawy zdolności wysiłkowych może być również prawdopodobne zmęczenie po okresie startowym, choć sama interwencja była przeprowadzona w okresie poza sezonem startowym. Co ciekawe, w tym samym badaniu, stężenie mleczanu we krwi po stopniowanym wysiłku było znacząco obniżone po 10 i 15 minutach regeneracji w grupie zawodników wykonujących trening SIT, niż w grupie kontrolnej.

Ciekawym zagadnieniem naukowym są mechanizmy fizjologiczne i biochemiczne leżące u podstaw obserwowanych zmian w poziomie zdolności wysiłkowych. Interwałowy trening sprinterski wpłynął na poprawę maksymalnego poboru tlenu wśród otyłych kobiet, w stosunku do grupy nietreningowej (Trilk i wsp. 2011). Natomiast wyniki uzyskane z testu stopniowanego nie wykazały różnicy pomiędzy HR_{max} oraz pojemnością minutową serca sugerując, że poprawa wydolności aerobowej nie była efektem zmian adaptacyjnych w układzie krążenia. Skuteczności SIT w poprawie wydolności tlenowej upatruje się przede wszystkim w zmianach enzymatycznych następujących po takim treningu. Opierając się na

badaniu Ross i wsp. (2001), trening o charakterze beztlenowym, jakim jest trening SIT, wywołuje zmiany VO_{2max} przede wszystkim przez metaboliczne adaptacje, a dokładnie zmiany enzymatyczne tj. zwiększenie aktywności enzymów biorących udział w energetycznej ścieżce fosfagenowej, glikolitycznej oraz tlenowej. Według Parra i wsp. (2000), po 14 sesjach treningowych SIT wykonywanych na ergometrze rowerowym z 15 sekundowym wysiłkiem (all-out) oraz częstotliwością wykonywania jednostek co 72 godziny, nastąpiło zwiększenie poziomu miokinazy o 18 %. Warto zaznaczyć, że grupa kontrolna wykonywała dokładnie taki sam trening, ale przystępując do niego co 24 godziny, zanotowała spadek miokinazy o 3 %. Brak poprawy w tym przypadku, wynikał prawdopodobnie ze zbyt dużej częstości treningu i krótkim okresem odpoczynku. Sugeruje to, konieczność nie tylko kontroli intensywności pracy w SIT, ale również częstości treningów. Innym aspektem, który trzeba uwzględnić w planowaniu protokołu treningowego jest czas trwania pojedynczego wysiłku. Wciąż nie jasne jaki jest optymalny czas trwania wysiłku w seriach głównych, czas trwania odpoczynku oraz długość mezocyklu treningowego by zmaksymalizować efekty treningowe, dlatego wciąż potrzeba dalszych badań mogących wyjaśnić tę kwestię. Badanie wykonane przez Thorstensson i wsp. (1975) dowiodło, że wykonywanie 5 sekundowych sprintów z przerwą trwającą od 25 do 55 sekund i częstością 3 – 4 treningi w tygodniu, zwiększyło poziom aktywności kinazy kreatynowej o 36 %. Do podobnych rezultatów doszedł Parra i wsp. (2000) z tym, że badanie to było wykonywane na cykloergometrach rowerowych i 15 sekundowe wysiłki spowodowały zwiększenie aktywności kinazy kreatynowej o 44 %, a po 30 sekundowych wysiłkach sprinterskich obserwowano zwiększenie tylko o 9 %. Nevill i wsp. (1989) dowiedli, że wykonywanie treningów SIT na bieżni lekkoatletycznej z wysiłkami supramaksymalnymi trwającymi 30 sekund, z dwuminutowymi przerwami, nie powodują degradacji fosfokreatyny. Z kolei Jacobs i wsp. (1987) oraz Linossier i wsp. (1997) nie wykazali, by 30 sekundowe wysiłki (all-out) wpłynęły istotnie na poziom aktywności kinazy kreatynowej. Cadefau i wsp. (1990), uważają, że zwiększenie aktywności kinazy kreatynowej jest większe wśród sprinterów, u których dochodzi do szybszego rozpadu fosfokreatyny, niż u osób nietreningujących lub prowadzących sedentarny tryb życia. Badanie wykonane przez Linossier i wsp. (1993) dowiodło zwiększenia aktywności enzymów glikolitycznych po zastosowanym treningu SIT. Zmiany te nastąpiły po 7-mio tygodniowym mezocyklu treningowym, składającym się z 5-cio sekundowych wysiłków supramaksymalnych na cykloergometrze rowerowym. Zaobserwowano zwiększenie aktywności fosfofruktokinazy oraz dehydrogenazy mleczanowej aż o 20 %. Podobne wyniki uzyskał Hellsten-Westing i wsp. (1993), notując istotne zwiększenie aktywności

fosfofruktokinazy po 6-cio tygodniowym treningu sprinterskim wykonywanym 3 razy w tygodniu. Według Dawson i wsp. (1998) nie zaobserwowano zmian dotyczących stężenia enzymów glikolitycznych wśród osób wykonujących trening sprinterski zarówno o krótkim czasie trwania (od 10 do 40 m odcinków na bieżni lekkoatletycznej) oraz krótkim czasie przerwy wynoszącym 24 s. Prawdopodobnie jest to spowodowane przez zbyt krótki czas trwania serii głównych oraz krótki czas odpoczynku. Zwiększenie aktywności fosfofruktazy, jako efekt SIT z wysiłkami trwającymi od 15 do 30 s, wykazał również Jacobs i wsp. (1987) w protokole treningowym z progresywnie wydłużanym czasem trwania wysiłku o 5 s na tydzień. MacDougal i wsp. (1998) zaobserwowali natomiast istotny wzrost aktywności heksokinazy, Sharp i wsp. (1986) wykazali wzrost stężenia fosfofruktokinazy, a z kolei Dawsoni wsp. (1998), po treningu interwałowym o wysokiej intensywności z wysiłkami trwającymi poniżej 10 s na cykloergometrze rowerowym, obserwowali zwiększenie aktywności fosforylasy glikogenu. Podobne dane przedstawił MacDougal i wsp. (1998), którzy dowiedli w swoim badaniu, że 30 s treningi (all-out) wykonywane na rowerze rowerowym są w stanie zwiększyć aktywność fosforylasy glikogenu o 9 %. Parra i wsp. (2000) wykazali, że wykonywanie 30 s wysiłków w protokole SIT z 12 minutowymi przerwami, 3x w tygodniu przez 6 tygodni powoduje również zwiększenie aktywności aldolazy o 28 %. Przeciwnie dane raportował Boobis i wsp. (1983), którzy pomimo zwiększenia VO_{2max} po treningach SIT, nie odnotowali istotnego wzrostu aktywności enzymów glikolitycznych. Choć w większości badań następował wzrost aktywności enzymów, to jednak ich związek ze zmianami zdolności wytrzymałościowych nie jest jednoznaczny, gdyż zwiększenie aktywności enzymów glikolitycznych w treningach sprinterskich o czasie trwania przekraczającym 10 s jest zrozumiałe, ze względu na duży udział (i usprawnienie) glikolitycznej ścieżki energetycznej (McLaughlin i wsp. 2008).

Potencjalny wpływ SIT na wydolność tlenową może wynikać również ze zmian zachodzących w aktywności enzymów oksydacyjnych pod wpływem tego treningu. Cadeau i wsp. (1990) zbadali wpływ 8 miesięcznego treningu interwałowego o wysokiej intensywności na wskaźniki biochemiczne krwi. Po przeprowadzonym makrocyklu treningowym w biopsji mięśnia obzernego bocznego, wykazano istotny wzrost takich enzymów jak dehydrogenaza bursztynianowa i syntaza cytrynianowa. Nie wiadomo jednak jaka była częstotliwość przeprowadzonych treningów oraz czas ich trwania czy forma ćwiczeń. Dawson i wsp. (1998), wykazali jednak w swoim badaniu obniżenie poziomu aktywności syntazy cytrynianowej w efekcie 6 tygodniowego treningu SIT wykonywanego na bieżni lekkoatletycznej i polegającego na wykonywaniu krótkich (> 10 s) wysiłków. Właśnie

w zbyt krótkich wysiłkach, autorzy upatrują niskiego zaangażowania procesów tlenowych w tej formie treningu. Co ciekawe w badaniu tym wykazano jednak wzrost VO_{2max} . Podobne wyniki uzyskał Linossier i wsp. (1993) nie wykazując w swoim badaniu istotnego zwiększenia aktywności enzymów oksydacyjnych. Badanie to zostało przeprowadzone na grupie studentów, lecz liczba jednostek treningowych wynosiła jedynie 5, a czas trwania wysiłku (all-out) również tylko 5 sekund. Bodziec treningowy mógł być zdecydowanie zbyt słaby, by wywołać zmiany adaptacyjne.

Według badania przeprowadzonego przez Sporiš i wsp. (2011), 12-sto tygodniowy trening oporowy z intensywnością 70 - 80 % 1RM zwiększył VO_{2max} o 4,3 %. Niestety w tym badaniu nie oceniono innych parametrów fizjologicznych (krążeniowo-oddechowych), których zmiany mogłyby wyjaśnić mechanizm prowadzący do zmiany VO_{2max} . Ciekawe dane raportowano w innym badaniu (Hu i wsp. 2008), w którym wykazano, że 20-sto tygodniowy trening ST istotnie zwiększył wskaźniki krwi takie jak, średnia objętość krwinek czerwonych, hematokryt oraz liczbę krwinek czerwonych. Autorzy sugerują, że trening oporowy wpływa na morfologię krwi powodując wzrost wskaźników związanych z czerwonymi krwinkami. Włączenie takiego treningu do treningu wytrzymałościowego, według autorów, może przeciwdziałać anemii sportowej, która może występować wśród osób uprawiających treningi wytrzymałościowe. W innym badaniu, Schjerve i wsp. (2008), wykazali, że trening ST istotnie poprawia, w podobny sposób jak trening interwałowy o wysokiej intensywności lub długotrwały trening aerobowy, VO_{2max} u otyłych osób oraz po treningu obniżył się poziom cholesterolu LDL.

Efekty tradycyjnego treningu interwałowego o charakterze tlenowym są dość dobrze opisane. Trening AIT poprawia wydolność tlenową poprzez usprawnienie funkcjonowania układu krążeniowego oraz oddechowego (Billat i wsp. 2001). Mier i wsp. (1997) wskazują, że AIT wykonywany tylko przez 10 dni jest w stanie polepszyć działanie układu krążeniowego, co przekłada się na poprawę wydolności tlenowej. Każdy trening trwał 60 min i składał się z 5 interwałowych wysiłków, początkowe wartości 3 minutowych serii głównych osiągały intensywność 65 % VO_{2max} następnie wartości te rosły do 75 % aż do maksymalnej wartości 95 % VO_{2max} . W badaniu tym w grupie badanej odnotowano istotny wzrost pojemności minutowej serca oraz objętości wyrzutowej serca, poprawiając tym samym transport tlenu z krwią do komórek. Molmen-Hansen i wsp. (2012) wykazali w swoim badaniu, że interwałowy wysiłek o średniej intensywności obniżył ciśnienie skurczowe o 12 mmHg, a rozkurczowe o 4,5 mmHg.

Opisane zmiany adaptacyjne, mogą wpłynąć na poprawę zdolności wytrzymałościowych m.in. na zwiększenie VO_{2max} i przesunięcie progu beztlenowego ku wyższej intensywności (obciążeniu). Potwierdzają to wyniki badań Smith i wsp. (1999), którzy odnotowali istotne zwiększenie VO_{2max} po AIT podczas treningu z intensywnością wynoszącą 75 % VO_{2max} . Autorzy sugerują, by właśnie w ten sposób dobierać obciążenie (tj. jako % VO_{2max}) w celu osiągnięcia pożądaných efektów treningowych. W niniejszym badaniu dobór obciążeń był względem obiektywnie występujących progów wentylacyjnych, co wydaje się bardziej trafną metodą doboru obciążeń, gdyż u każdej trenującej osoby podłoże metaboliczne (energetyczne) jest identyczne. Gibbons i wsp. (1983) dowiódł, że trening AIT wpływa na przesunięcie progu beztlenowego ku wyższym intensywnością wśród biegaczy a z kolei Franch i wsp. (1998) w przeprowadzonym przez siebie badaniu opisują, że grupa wykonująca AIT miała większy przyrost VO_{2max} (6 %), niż grupa wykonująca SIT (3,6 %). Wyniki badań własnych częściowo potwierdzają te obserwacje.

Ciekawe są efekty wykorzystanych w tym badaniu treningów na wskaźniki charakteryzujące potencjał beztlenowy badanych mężczyzn. Odnotowano bowiem, że wszystkie treningi (ST, SIT i AIT) poprawiły szczytową moc beztlenową, a tylko SIT i ST poprawiły beztlenową moc średnią w teście Wingate. Efektów wywołanych przez SIT i ST można było się spodziewać (trening sprinterski i siłowy), gdyż moc jest produktem siły i szybkości. Potwierdzają to inne badania (Kraemer i wsp. 1995, Sporiš i wsp. 2011 i Vikmoen i wsp. 2016), w których wykazano, że trening siły maksymalnej zwiększa moc szczytową podczas testu Wingate. Podobnie, udowodniono, że trening sprinterski również istotnie poprawia poziom uzyskanej mocy (Burgomaster i wsp. 2005, Burgomaster i wsp. 2006 i Burgomaster i wsp. 2007). Zjawisko to można wytłumaczyć poprzez adaptację nerwowo-mięśniową po treningu siłowym (aktywacja jednostek motorycznych) (Hoff i wsp. 2002) oraz poprawę sprawności enzymów po zaaplikowanym treningu sprinterskim (miokinaza, kinaza kreatynowa, fosfofruktokinaza, dehydrogenaza mleczanowa, heksokinaza, fosforylaza glikogenowa, aldolaza, dehydrogenaza bursztynianowa, syntaza cytrynianowa) (Parra i wsp. 2000, Ross i wsp. 2001, Thorstensson i wsp. 1975). Swoistym zaskoczeniem jest zwiększenie mocy szczytowej w grupie wykonującej AIT, pomimo, że był to trening o submaksymalnej intensywności. Być może obserwowany efekt wynika, z jednej strony z charakteru wysiłku treningowego tj. jazdy na cykloergometrze rowerowym i tym samym poprawy techniki jazdy na rowerze. Z drugiej strony, AIT był treningiem tlenowo-beztlenowym co mogło się przełożyć również na poprawę mocy w teście beztlenowym (beztlenowa komponenta tego treningu). Analizując uzyskane dane, wydaje się, że

najskuteczniejszą formą treningu poprawiającego wskaźniki analizowane w teście Wingate jest jednak SIT. Po SIT odnotowano dodatkowo istotne skrócenie czasu uzyskania mocy szczytowej co świadczy o poprawie dynamiki startu badanych („szybkości startowej”) i tą zmianę należy uznać za korzystną i mającą duże znaczenie w sporcie. Niestety niekorzystną zmianą obserwowaną po SIT był zwiększenie wskaźnika zmęczenia (FI), obrazującego tempo spadku mocy w teście. Być może wynikało to z zastosowania w SIT, 15 sekundowych wysiłków – dłużej trwające wysiłki mogłyby się przełożyć nawet na poprawę FI. Raportowane dane w niniejszym badaniu potwierdzają wyniki badań Bayati i wsp. (2011) udowodniło, że supramaksymalny trening interwałowy (SIT) trwający 4 tygodnie z częstotliwością 3x w tygodniu poprawił wydolność beztlenową. Uczestnicy wykonywali 30 s wysiłki z intensywnością (all-out) i przerwami 4 min. W efekcie treningu odnotowano zwiększenie PP o 10,3 %. W badaniach przeprowadzonych przez Foster i wsp. (2015), wskazano skuteczność treningu o charakterze beztlenowo - tlenowym, przeprowadzonego w grupie 55 niewytrenowanych osób, którzy przez 8 tygodni z częstotliwością 3x w tygodniu, wykonywali zaleconą aktywność fizyczną. Wyniki uzyskane z testu Wingate wskazują na zwiększenie mocy maksymalnej od 4 do 7 %. Sporiš i wsp. (2011) wykazali, że po 12-sto tygodniowym treningu oporowym zanotowano zwiększenie wydolności anaerobowej o 2,7 %. Prawdopodobnie poprawa mocy szczytowej w teście Wingate wynika ze zwiększenia siły mięśniowej w grupie ST.

Niestety, żaden z treningów nie zredukował istotnie otłuszczenia ciała. Jedynie istotne zmiany zaszły w poziomie LBM w grupie ST, w której odnotowano zwiększenie LBM. Obserwowany efekt potwierdzają również inne badania (Häkkinen i wsp. 1987, Kraemer i wsp. 1995, Kuboi i wsp. 2003, Stone i wsp. 1992), które dowiodły, że trening ST jest w stanie zwiększyć masę mięśniową. Podczas SIT, a dokładnie supramaksymalnych wysiłków, nie dochodzi do spalania tkanki tłuszczowej, to samo dotyczy treningu siłowego (powtórzenia i serie z wysoką intensywnością), ponieważ w tego rodzaju wysiłkach dochodzi do uwalniania energii z fosfagenowych oraz glikolitycznych źródeł energii (McArdle, 2010). Natomiast zwiększenie metabolizmu tlenowego obserwuje się po zakończeniu SIT i ST. Według Thornton i wsp. (2002), trening o wysokiej intensywności (85 % 1RM) wywołuje dług tlenowy, który powoduje większe zużycie tlenu między seriami oraz po zakończonym treningu i wówczas możliwe jest zwiększenie oksydacji kwasów tłuszczowych. Podobne zjawisko obserwowane jest podczas SIT, w czasie odpoczynku między intensywnymi seriami i po zakończonym treningu występuje dług tlenowy (Moniz i wsp. 2020). Najważniejszym czynnikiem, od którego zależy spadek otłuszczenia jest jednak ujemny bilans energetyczny

(deficyt kaloryczny) (Astorino i wsp. 2012, Laursen i wsp. 2005, McMurray i wsp. 1991, Ní Chéilleachair i wsp. 2017 oraz Westgarth-Taylor i wsp. 1997) natomiast trening może wspomóc ten proces, powodując duży całkowity wydatek energetyczny. Keating i wsp. (2017), weryfikowali w swojej meta-analizie skuteczność różnych form treningu (SIT, HIIT lub ET) w redukcji tkanki tłuszczowej. W badaniu analizowano efektywność treningów: supramaksymalnych SIT (all-out) trwających od 8 do 30 s z aktywnym wypoczynkiem między 2 a 4 min; HIIT o intensywności od 80 do 100 % VO_{2max} (z czasem trwania od 60 do 240 s) i przerwami wynoszącymi od 5 do 10 min; oraz ciągłego treningu wytrzymałościowego wykonywanego z intensywnością 40 – 60 % VO_{2max} i czasie trwania od 20 do 60 min. W meta-analizie nie wykazano różnic w skuteczności analizowanych form treningu w redukcji tkanki tłuszczowej, co jest spójne z wynikami moich badań, w których również nie wykazano istotnych różnic pomiędzy użytymi treningami w skuteczności obniżenia poziomu otluszczenia. Podobne wnioski wyciągnęli Viana i wsp. (2019), którzy również w swojej meta-analizie nie wykazali istotnych różnic w skuteczności redukcji otluszczenia ciała między treningiem SIT, a ET. Odmienne dane przedstawili Hazell i wsp. (2014) wykazując skuteczność biegowego treningu SIT w obniżeniu tkanki tłuszczowej. Po zaaplikowanym 6-cio tygodniowym treningu (3x w tygodniu, liczba serii między 4 a 6 po 30 s all-out i czasem aktywnej przerwy 4 min) zanotowano spadek masy tkanki tłuszczowej o 8 % i zmniejszenie obwodu talii o 3,5 % (około 4,5 cm), wzrost poziomu LBM w kończynach dolnych wzrósł o 1,3 % u badanych kobiet. Autorzy podają, że przez cały okres treningu osoby badane prowadziły dziennik żywieniowy i nie wykazano u nich ujemnego bilansu energetycznego. Być może brak redukcji otluszczenia w badaniach własnych był spowodowany tym, że osoby trenowały na cykloergometrach rowerowych angażując jedynie kończyny dolne do pracy podczas gdy bieg w większym stopniu mobilizuje ciało powodując większe zużycie energii podczas wysiłku fizycznego (Hazell i wsp. 2014). Porównując ST i AIT w skuteczności redukcji otluszczenia ciała wykazano (Ismail i wsp. 2011), że grupy wykonujące trening siłowy (między 30 a 100 % 1RM) oraz wykonujące treningi o aerobowym charakterze (60 – 75 % VO_{2max}) miały podobną efektywność. W każdym badaniu nastąpiło istotne zmniejszenie otluszczenia ciała, natomiast nie zaobserwowano istotnych różnic międzygrupowych. Konieczne są zatem dalsze badania dotyczące skuteczności treningów beztlenowych jako sposób na obniżenie tkanki tłuszczowej.

W badaniach własnych nie badano innego wskaźnika uwzględnianego w ocenie wytrzymałości tj. ekonomii pracy podczas pracy submaksymalnej np. ekonomii biegu, co jest

ograniczeniem tego badania. Częściowo, o efektach treningów informuje poziom progowy (tj. przy VT I i przy VT II) badanych wskaźników fizjologicznych, jednakże, by w pełni ocenić ekonomię pracy na ergometrze rowerowym, konieczne byłoby wykonanie odrębnego kilkuminutowego wysiłku (do uzyskania steady-state) podczas którego oceniono by ekonomię pracy (koszt fizjologiczny wysiłku). Ciekawy mógłby okazać się wpływ treningu beztlenowego na ekonomię biegu, jednakże z racji charakteru treningu SIT i AIT (wysiłki na cykloergometrach) zrezygnowano z tego badania. Niemniej jednak wpływ treningów beztlenowych na ekonomię pracy był przedmiotem innych badań (Heggelund i wsp. 2013, Loveless i wsp. 2005, Østerås i wsp. 2002, Sunde i wsp. 2010, Støren i wsp. 2008, Rønnestad i wsp. 2015). Hoff i wsp. (2002) dowiedli, że zastosowanie treningu siłowego o wysokiej intensywności 85 % 1RM u biegaczy narciarskich, poprawił ekonomię pracy aż o 20,5 %. Według autorów poprawa wytrzymałości nastąpiła w efekcie poprawy ekonomii ruchu, a ta dzięki adaptacjom nerwowo-mięśniowym poprawiającym siłę mięśniową. Do podobnych wniosków doszedł Østerås i wsp. (2002). Heggelund i wsp. (2013) w swoim badaniu również dowiedli, że 8 tygodniowy trening siłowy wpłynął na poprawę ekonomii pracy na ergometrze rowerowym. Uczestnicy zostali podzieleni na dwie grupy, pierwsza wykonywała trening 3x w tygodniu z objętością wynoszącą 3 serie po 10 powtórzeń i intensywnością 50 – 60 % 1RM. Druga grupa wykonywała trening siły maksymalnej wynoszący 3 serie po 5 powtórzeń z intensywnością 85 % 1RM. Po treningu fizycznym o wyższej intensywności nastąpiła poprawa ekonomii pracy o 31 %, natomiast w grupie ćwiczącej z niższą intensywnością poprawa wyniosła jedynie 18 %. Wnioski sugerują, że trening o wyższej intensywności jest bardziej efektywny w budowaniu wytrzymałości poprzez rozwój siły maksymalnej mięśni. Jak podaje Loveless i wsp. (2005) trening ST z nieco inną objętością (4 serie po 5 powtórzeń), intensywnością 85 % 1RM i częstością 3x w tygodniu również wpłynął na poprawę ekonomii jazdy na rowerze. Autorzy sugerują, że poprawa ekonomii pracy nastąpiła poprzez adaptacje nerwowo-mięśniowe, gdyż wskaźniki układu krążenia i oddechowego nie zmieniły się, a beztłuszczowa masa ciała również nie uległa zmianie. Støren i wsp. (2008), udowodnili w swoim badaniu, że 8 tygodniowy trening siły maksymalnej poprawia ekonomię biegu (odpowiadającej 70 % VO_{2max}) o 5 %. Ciekawym faktem jest to, że VO_{2max} nie uległ zmianie po wykonanym mezocyklu treningowym. Vandbakk (2015) nie wykazał, by 8 tygodniowy trening SIT wśród kobiet jeżdżących zawodowo na rolkach z częstością 2x w tygodniu wpłynął na ekonomię pracy. Być może było to spowodowane tym, że trening został wykonany jedynie na kończynach górnych, bez zaangażowania kończyn dolnych. Z kolei Vikmoen i wsp. (2016) dostrzegli, że przeprowadzony cykl treningów siłowych poprawił

ekonomię pracy o 13 % wśród kobiet uprawiających kolarstwo. Badacze uważają, że stało się to za sprawą zwiększenia przekroju fizjologicznego mięśnia czworogłowego uda. Analiza powyższych badań sugeruje, że ST może wpływać na poprawę zdolności wytrzymałościowych (ekonomię pracy) poprzez zwiększenie siły mięśniowej. Wciąż jednak kwestią sporną treningu ST jest jego bezpośredni wpływ na zwiększenie VO_{2max} (bez poprawy ekonomii pracy) oraz pozostałych wskaźników układu krążeniowo-oddechowego.

Trening o wysokiej intensywności i o charakterze interwałowym może wpływać korzystniej na poprawę wyników sportowych w porównaniu do tradycyjnego treningu wytrzymałościowego o umiarkowanej intensywności (Gist i wsp. 2014, Milanovic i wsp. 2015, Weston i wsp. 2014 oraz). Według Blair i wsp. (1995) u osób wykonujących treningi o wysokiej intensywności (tj. o podłożu beztlenowym lub beztlenowo-tlenowym) obserwuje się zmniejszenie przedwczesnego ryzyka śmierci w porównaniu do osób o sedentarnym trybie życia. Interwałowy trening sprinterski oraz HIIT może stanowić doskonałą alternatywę dla typowego treningu wytrzymałościowego. Godin i wsp. (1994) w swoim badaniu wykazali, że wyniki testów wysiłkowych uzyskane pomiędzy grupą osób wykonujących trening SIT oraz standardowy trening wytrzymałościowy są na podobnym poziomie. Jednak różnice pomiędzy tymi treningami polegają na odmiennej charakterystyce treningu tj. np. objętości. Wszelkie odmiany treningu o wysokiej intensywności (HIIT, SIT, ST) mogą zatem zwiększać nie tylko poziom maksymalnego poboru tlenu, ale również moc mięśni u zawodnika. Trening tego typu może być stosowany u wyczynowych sportowców oraz osób charakteryzujących się wysoką sprawnością fizyczną w celu poprawy wytrzymałości tlenowo-beztlenowej. Natomiast ostrożnie należy go stosować u osób prowadzących sedentarny tryb życia lub po urazach czy chorobach ze względu na swój wysoki poziom intensywności – wymagane jest wcześniejsze przygotowanie ruchowe do takiego treningu. Choć coraz więcej danych wskazuje, że HIIT i SIT są skutecznymi metodami treningowymi. Nicholas i wsp. (2013) sugerują, aby nie pomijać w treningu klasycznego treningu wytrzymałościowego. Połączenie obu treningów może się przyczynić do poprawy układu krążeniowo-oddechowego i do optymalizacji wydolności zawodników. W początkowym etapie przygotowania motorycznego, a dokładnie w okresie przygotowawczym (ok 4 – 6 tygodnie), zalecane są ćwiczenia siłowe przy użyciu wolnych ciężarów (sztangi, hantle, maszyny półwolne): stosowanie ćwiczeń typu przysiady, wyciskania, martwe ciągi oraz olimpijskie podnoszenie ciężarów przyczynia się do budowania siły i mocy mięśniowej (Argus i wsp. 2010).

Należy mieć na uwadze, że zastosowanie innych protokołów treningowych może skutkować inną efektywnością treningów. W dalszych badaniach, dodatkowo należałoby zwiększyć czas trwania mezocyklu treningowego z 6 tygodni do 8 lub 12 tygodni, sprawdzając, czy i jak te modyfikacje treningu wpłyną na badane zmienne. Manipulacja parametrami w treningu ST, takimi jak: liczba powtórzeń (w pracy własnej stosowano od 3 do 5) do 8 czy 12 mogłaby również przynieść inne efekty jak np. w badaniach (Heggelund i wsp. 2013, Loveless i wsp. 2005, Østerås i wsp. 2002, Rønnestad i wsp. 2015, Støren i wsp. 2008 oraz Sunde i wsp. 2010), w których odnotowano poprawę ekonomii pracy. Zmiana czasu trwania wysiłku w treningu SIT z 15 do 30 sekund, również może skutkować uzyskaniem innych rezultatów, podobnie jak w badaniu Gibala i wsp. (2008). W niniejszych badaniach uczestniczyli nietreningujący mężczyźni, więc skuteczność zastosowanych treningów u osób wytrenowanych może być inna. W niniejszym badaniu nie badano również fizjologicznych i biochemicznych mechanizmów leżących u podstaw obserwowanych zmian, lecz jedynie oceniono efekty treningów na wydolność tlenową i beztlenową młodych, nietreningujących mężczyzn.

5. Wnioski

1. Trening z dominującym metabolizmem beztlenowym, zarówno sprinterski jak i siłowy, okazał się skuteczną metodą treningu wydolności tlenowej. Po SIT i ST oraz AIT istotnie zwiększył się maksymalny minutowy pobór tlenu badanych mężczyzn, a obserwowana wielkość efektu była porównywalna w badanych grupach.
2. Zdolności wytrzymałościowe, oceniane za pomocą progów wentylacyjnych, nie uległy istotnym zmianom pod wpływem treningu beztlenowego, zarówno o charakterze sprinterskim jak i siłowym. Jedynie interwałowy trening tlenowy wpłynął korzystnie na poziom mocy i pobór tlenu na poziomie progów wentylacyjnych.
3. Żaden z treningów (SIT, ST, AIT) nie spowodował istotnej redukcji otłuszczenia ciała badanych mężczyzn. Jedynie po treningu siłowym obserwowano istotne zwiększenie beztłuszczowej masy ciała mężczyzn.
4. Treningi o charakterze beztlenowym (SIT i ST) istotnie zwiększyły moc beztlenową moc szczytową i średnią, co może świadczyć o poprawie wydolności fosfagenowej i glikolitycznej. Interwałowy trening tlenowy, wykonywany na ergometrze rowerowym, spowodował istotne zwiększenie jedynie mocy szczytowej badanych mężczyzn.
5. Treningi z dominującym metabolizmem beztlenowym mogą być uzupełnieniem interwałowego treningu tlenowego lub skuteczną alternatywą dla interwałowego treningu tlenowego w kształtowaniu wydolności tlenowej i beztlenowej, szczególnie w sportach o mieszanym podłożu energetycznym (anaerobowo-aerobowym).

Piśmiennictwo

- Aagaard, P. (2003). *Training-induced changes in neural function*. Exercise and Sport Sciences Reviews, 31, 61-67.
- Altenburg, T. M., Degens, H., van Mechelen, W., Sargeant, A. J., & de Haan, A. (2007). *Recruitment of single muscle fibers during submaximal cycling exercise*. Journal of Applied Physiology, 103, 1752-1756.
- Argus, C. K., Gill, N., Keogh, J., Hopkins, W. G., & Beaven, C. M. (2010). *Effects of a short-term pre-season training programme on the body composition and anaerobic performance of professional rugby union players*. Journal of Sports Sciences, 28, 679-686.
- Astorino, T. A., & Thum, J. S. (2016). *Response: Commentary: Why sprint interval training is inappropriate for a largely sedentary population*. Frontiers in Psychology, 7, 746.
- Astorino, T. A., Allen, R. P., Roberson, D. W., & Jurancich, M. (2012). *Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 26, 138-145.
- Åstrand, P. O., & Saltin, B. (1961). *Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise*. Journal of Applied Physiology, 16, 971-976.
- Babiarz M., & Pacek A. (2019). *Sekrety przygotowania motorycznego w sporcie*. Strength and Conditioning Education Center, 73.
- Babraj, J. A., Vollaard, N. B., Keast, C., Guppy, F. M., Cottrell, G., & Timmons, J. A. (2009). *Extremely short duration high intensity interval training substantially improves insulin action in young healthy males*. BioMed Central, 9, 1-8.
- Bailey, S. J., Wilkerson, D. P., DiMenna, F. J., & Jones, A. M. (2009). *Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans*. Journal of Applied Physiology, 106, 1875-1887.
- Baker, J. S., McCormick, M. C., & Robergs, R. A. (2010). *Interaction among skeletal muscle metabolic energy systems during intense exercise*. Journal of Nutrition and Metabolism, 1-13.

- Bangsbo, J., Gunnarsson, T. P., Wendell, J., Nybo, L., & Thomassen, M. (2009). *Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na⁺-K⁺ pump α 2-subunit expression as well as short-and long-term work capacity in humans*. *Journal of Applied Physiology*, 107, 1771-1780.
- Bayati, M., Farzad, B., Gharakhanlou, R., & Agha-Alinejad, H. (2011). *A practical model of low-volume high-intensity interval training induces performance and metabolic adaptations that resemble 'all-out'sprint interval training*. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10, 571.
- Bearden SE, Moffatt RJ (2001) $\dot{V}O_2$ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. *Journal of Applied Physiology*, 90, 2081-2087.
- Beneke, R. (2003). *Maximal lactate steady state concentration (MLSS): experimental and modelling approaches*. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 361-369.
- Beneke, R. (2003). *Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing*. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 95-99.
- Bhambhani, Y., & Singh, M. (1985). *Ventilatory thresholds during a graded exercise test*. *Respiration*, 47, 120-128.
- Billat, L. V. (2001). *Interval training for performance: a scientific and empirical practice: special recommendations for middle-and long-distance running. Part I: aerobic interval training*. *Sports Medicine*, 31, 13-31.
- Billat, LV. (2001). *Interval training for performance: A scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and longdistance running. Part II: Anaerobic interval training*. *Sports Medicine*, 31, 75–90.
- Billat, V. L., Sirvent, P., Py, G., Koralsztejn, J. P., & Mercier, J. (2003). *The concept of maximal lactate steady state: a bridge between biochemistry, physiology and sport science*. *Sports Medicine*, 33, 407-426.
- Binder RK, Wonisch M, Corra U, Cohen-Solal A, VanheesL, Saner H, et al. (2008). *Methodological approach to the firstand second lactate threshold in incremental cardiopulmonaryexercise testing*. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 15, 726-34.

- Birch, K., MacLaren, D., & George, K. (2012). *Krótkie wykłady. Fizjologia Sportu*. Polskie Wydawnictwo Naukowe, 13-15.
- Bizjak, D. A., Tomschi, F., Bales, G., Nader, E., Romana, M., Connes, P., & Grau, M. (2020). *Does endurance training improve red blood cell aging and hemorheology in moderate-trained healthy individuals?* *Journal of Sport and Health Science*, 9, 595-603.
- Blair S. N., Kohl H. W. 3rd, Barlow C. E., (1995). *Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men*. *Journal of American Medical Association*, 1093–8.
- Blair, S. N., Haskell, W. L., Ho, P., Paffenbarger JR, R. S., Vranizan, K. M., Farquhar, J. W., & Wood, P. D. (1985). *Assessment of habitual physical activity by a seven-day recall in a community survey and controlled experiments*. *American Journal of Epidemiology*, 122, 794-804.
- Blomqvist, C. G., & Saltin, B. (1983). *Adaptations to physical training*. *Ann. Physiological Reviews*, 4, 169-89.
- Boobis, L., Williams, C., & Wootton, S. A. (1983). *Human-muscle metabolism during brief maximal exercise*. *Journal of Physiology*, 10011-4211.
- Borg, G. (1998). *Borg's perceived exertion and pain scales*. *Human Kinetics*.
- Bruss, Z. S., & Raja, A. (2019). *Physiology, stroke volume*. *StatPearls*.
- Buchan, D. S., Ollis, S., Young, J. D., Thomas, N. E., Cooper, S. M., Tong, T. K., & Baker, J. S. (2011). *The effects of time and intensity of exercise on novel and established markers of CVD in adolescent youth*. *American Journal of Human Biology*, 23, 517-526.
- Buchheit, M., & Laursen, P. B. (2013). *High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis*. *Sports Medicine*, 43, 313-338.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., & Ahmaidi, S. (2010). *Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5, 152-164.

- Burgomaster K. A., Howarth K. R., Phillips S. M., (2008). *Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans*. *The Journal of Physiology*, 151–60.
- Burgomaster, K. A., Cermak, N. M., Phillips, S. M., Benton, C. R., Bonen, A., & Gibala, M. J. (2007). *Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining*. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292, 1970-1976.
- Burgomaster, K. A., Heigenhauser, G. J., & Gibala, M. J. (2006). *Effect of short-term sprint interval training on human skeletal muscle carbohydrate metabolism during exercise and time-trial performance*. *Journal of Applied Physiology*, 100, 2041-2047.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). *Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans*. *Journal of Applied Physiology*, 1985-1990.
- Cadefau, J., Casademont, J., Grau, J. M., Fernandez, J., Balaguer, A., Vernet, M., & Urbano-Marquez, A. (1990). *Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140, 341-351.
- Chromiak, J. A., & Mulvaney, D. R. (1990). *A review: the effects of combined strength and endurance training on strength development*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 4, 55-60.
- Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge, 58-59.
- Coleman, S. G. S., Hale, T., & Hamley, E. J. (1985). *A comparison of power outputs with rolling and stationary starts in the Wingate Anaerobic Test*. *Journal of Sports Sciences*, 3, 207.
- Conley, D. L., & Krahenbuhl, G. S. (1980). *Running economy and distance running performance of highly trained athletes*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, 357-360.
- Conwit, R. A., Stashuk, D., Tracy, B., McHugh, M., Brown, W. F., & Metter, E. J. (1999). *The relationship of motor unit size, firing rate and force*. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1270-1275.

- Costill, DL, Fink, WJ, and Pollock, ML. (1976). *Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 8, 96-100.
- Coyle, E. F., Feltner, M. E., Kautz, S. A., Hamilton, M. T., Montain, S. J., Baylor, A. M., & Petrek, G. W. (1991). *Physiological and biomechanical factors associated with elite endurance cycling performance*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23, 93-107.
- Creer, A. R., Ricard, M. D., Conlee, R. K., Hoyt, G. L., & Parcell, A. C. (2004). *Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists*. *International Journal of Sports Medicine*, 25, 92-98.
- Currie, K. D., Dubberley, J. B., McKelvie, R. S., & MacDonald, M. J. (2013). *Low-volume, high-intensity interval training in patients with CAD*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45, 1436-1442.
- Daniels, J. (1989). *Training Distance Runners*. *Sport Science Exchange*, 1-36.
- Daussin, F. N., Zoll, J., Dufour, S. P., Ponsot, E., Lonsdorfer-Wolf, E., Doutreleau, S., & Richard, R. (2008). *Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects*. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295, 264-272.
- Dawson, B., Fitzsimons, M., Green, S., Goodman, C., Carey, M., & Cole, K. (1998). *Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 78, 163-169.
- Denadai, B. S., Figueira, T. R., Favaro, O. R. P., & Gonçalves, M. (2004). *Effect of the aerobic capacity on the validity of the anaerobic threshold for determination of the maximal lactate steady state in cycling*. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 37, 1551-1556.
- Drinkwater, E. J., Galna, B., McKenna, M. J., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). *Validation of an optical encoder during free weight resistance movements and analysis of bench*

- press sticking point power during fatigue*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 21, 510-517.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., Mckenna, M. J., Lindsell, R. P., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). *Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 21, 841-847.
- Dudley, G. A., Abraham, W. M., & Terjung, R. L. (1982). *Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle*. Journal of Applied Physiology, 53, 844-850.
- Edge, J., Bishop, D., Hill-Haas, S., Dawson, B., & Goodman, C. (2006). *Comparison of muscle buffer capacity and repeated-sprint ability of untrained, endurance-trained and team-sport athletes*. European Journal of Applied Physiology, 96, 225-234.
- Escamilla, R., & Wickham, R. (2003). *Exercise-based conditioning and rehabilitation*. Physical Therapies in Sport and Exercise, 143-164.
- Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). *Manipulating high-intensity interval training: effects on $\dot{V}O_2\text{max}$, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males*. Journal of Science and Medicine in Sport, 10, 27-35.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1979). *Plasma lactate accumulation and distance running performance*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 11, 338-44.
- Farzad, B., Gharakhanlou, R., Agha-Alinejad, H., Curby, D. G., Bayati, M., Bahraminejad, M., & Mäestu, J. (2011). *Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 25, 2392-2399.
- Folland, J. P., Irish, C. S., Roberts, J. C., Tarr, J. E., & Jones, D. A. (2002). *Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training*. British Journal of Sports Medicine, 36, 370-373.
- Forbes, S. C., Slade, J. M., & Meyer, R. A. (2008). *Short-term high-intensity interval training improves phosphocreatine recovery kinetics following moderate-intensity exercise in humans*. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 33, 1124-1131.

- Foster, C., Farland, C. V., Guidotti, F., Harbin, M., Roberts, B., Schuette, J., & Porcari, J. P. (2015). *The effects of high intensity interval training vs steady state training on aerobic and anaerobic capacity*. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14, 747.
- Franch, J., Madsen, K., Djurhuus, M. S., & Pedersen, P. K. (1998). *Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 1250-1256.
- Gaesser, G. A., Poole, D. C., & Gardner, B. P. (1984). *Dissociation between and ventilatory threshold responses to endurance training*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 53, 242-247.
- Gao, M., Huang, Y., Wang, Q., Liu, K., & Sun, G. (2022). *Effects of high-intensity interval training on pulmonary function and exercise capacity in individuals with chronic obstructive pulmonary disease: A meta-analysis and systematic review*. *Advances in Therapy*, 1-23.
- García-Pinillos, F., Cámara-Pérez, J. C., Soto-Hermoso, V. M., & Latorre-Román, P. Á. (2017). *A high intensity interval training (HIIT)-based running plan improves athletic performance by improving muscle power*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 31, 146-153.
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). *Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain?* *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36, 58-63.
- Gibala, M. J., Little, J. P., MacDonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). *Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease*. *The Journal of Physiology*, 590, 1077-1084.
- Gibbons, E. S., Jessup, G. T., Wells, T. D., & Werthmann, D. A. (1983). *Effects of various training intensity levels on anaerobic threshold and aerobic capacity in females*. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 23, 315-318.
- Gist, N. H., Fedewa, M. V., Dishman, R. K., & Cureton, K. J. (2014). *Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis*. *Sports Medicine*, 44, 269-279.

- Godin, G., Desharnais, R., Valois, P., Lepage, L., Jobin, J., & Bradet, R. (1994). *Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: observations among different populations*. American Journal of Health Promotion, 8, 279-285.
- Gołąb, S., & Chrzanowska, M. (2007). *Przewodnik do ćwiczeń z antropologii*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie, 28-29.
- Grgic, J., Schoenfeld, B. J., Orazem, J., & Sabol, F. (2022). *Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: A systematic review and meta-analysis*. Journal of Sport and Health Science, 11, 202-211.
- Haff, G. G., & Triplett, N. T. (2021). *Essentials of strength training and conditioning*. National Strength & Conditioning Association, Human Kinetics, 60-61; 121.
- Häkkinen, K., Komi, P. V., Alén, M., & Kauhanen, H. (1987). *EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weightlifters*. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 56, 419-427.
- Hardcastle, S. J., Ray, H., Beale, L., & Hagger, M. S. (2014). *Why sprint interval training is inappropriate for a largely sedentary population*. Frontiers in Psychology, 5, 1505.
- Hazell, T. J., Hamilton, C. D., Olver, T. D., & Lemon, P. W. (2014). *Running sprint interval training induces fat loss in women*. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39, 944-950.
- Hazell, T. J., MacPherson, R. E., Gravelle, B. M., & Lemon, P. W. (2010). *10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance*. European Journal of Applied Physiology, 110, 153-160.
- Heggelund, J., Fimland, M. S., Helgerud, J., & Hoff, J. (2013). *Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training*. European Journal of Applied Physiology, 113, 1565-1573.
- Hellsten-Westing, Y., Balsom, P. D., Norman, B., & Sjodin, B. (1993). *The effect of high-intensity training on purine metabolism in man*. Acta Physiologica Scandinavica, 149, 405-412.

- Henriksson, J., & Reitman, J. S. (1976). *Quantitative measures of enzyme activities in type I and type II muscle fibres of man after training*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 97, 392-397.
- Heyward, H. V. (1997). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription*. 3rd edition. Human Kinetics Publishers, 181-192.
- Hoeger, W. W., Barette, S. L., Hale, D. F., & Hopkins, D. R. (1987). *Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 1, 11-13.
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). *Maximal strength training improves aerobic endurance performance*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12, 288-295.
- Holloszy J. O., Coyle E. F. (1984). *Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences*. *Journal of Applied Physiology*, 831-8.
- Holloszy, J. O., & Booth, F. W. (1976). *Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle*. *Annual Review of Physiology*, 38, 273-291.
- Hoppeler, H. (1986). *Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle*. *International Journal of Sports Medicine*, 7, 187-204.
- Hoppeler, H., Howald, H., Conley, K., Lindstedt, S. L., Claassen, H., Vock, P., & Weibel, E. R. (1985). *Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle*. *Journal of Applied Physiology*, 59, 320-327.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., & Welch, H. G. (1995). *Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27, 1292-1301.
- Hu, M., Finni, T., Sedliak, M., Zhou, W., Alen, M., & Cheng, S. (2008). *Seasonal variation of red blood cell variables in physically inactive men: effects of strength training*. *International Journal of Sports Medicine*, 29, 564-568.
- Hydren, J. R., & Cohen, B. S. (2015). *Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29, 3523-3530.

- Iaia, F. M., Hellsten, Y., Nielsen, J. J., Fernström, M., Sahlin, K., & Bangsbo, J. (2009). *Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume*. *Journal of Applied Physiology*, 106, 73-80.
- Inbar, O., & Bar-Or, O. (1986). *Anaerobic characteristics in male children and adolescents*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 264-269.
- Ismail, I., Keating, S. E., Baker, M. K., & Johnson, N. A. (2012). *A systematic review and meta-analysis of the effect of aerobic vs. resistance exercise training on visceral fat*. *Obesity Reviews*, 13, 68-91.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., & Gorostiaga, E. M. (2006). *Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains*. *Journal of Applied Physiology*, 1647-1656.
- Jackson A. S., Sui X., Hebert J. R., (2009). *Role of lifestyle and aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness*. *Archives of Internal Medicine*, 1781-7.
- Jacobs, I., Esbjörnsson, M., Sylven, C., Holm, I., & Jansson, E. (1987). *Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 368-374.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). *The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness*. *Sports Medicine*, 29, 373-386.
- Keating, S. E., Johnson, N. A., Mielke, G. I., & Coombes, J. S. (2017). *A systematic review and meta-analysis of interval training versus moderate-intensity continuous training on body adiposity*. *Obesity Reviews*, 18, 943-964.
- Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). *The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk*. *Sports Medicine*, 42, 489-509.
- Kim, J., Lee, N., Trilk, J., Kim, E. J., Kim, S. Y., Lee, (2012). *The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk*. *Sports Medicine* 42, 489-509.

- Kim, J., Lee, N., Trilk, J., Kim, E. J., Kim, S. Y., Lee, M., & Cho, H. C. (2011). *Effects of sprint interval training on elite Judoists*. *International Journal of Sports Medicine*, 32, 929-934.
- Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). *The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 42, 25-34.
- Klausen, K., Andersen, L. B., & Pelle, I. (1981). *Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 113, 9-16.
- Kohn, T. A., Essén-Gustavsson, B., & Myburgh, K. H. (2011). *Specific muscle adaptations in type II fibers after high-intensity interval training of well-trained runners*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 21, 765-772.
- Koralsztein, S. D. J., & Billat, V. (2000). *Time limit and time at VO₂max 'during a continuous and intermittent run*. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 96.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). *Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36, 674-688.
- Kraemer, W. J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G. A., Dooly, C., Feigenbaum, M. S., & Triplett-McBride, T. (2002). *American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 364-380.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K. A. T. Y., & Dziados, J. E. (1995). *Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations*. *Journal of Applied Physiology*, 78, 976-989.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., Johnson, R. L., Nieman, D. C., & Hoke, T. P. (1997). *Effects of single vs. multiple sets of weight training: impact of volume, intensity, and variation*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11, 143-147.

- Kuboi, K., Kanehisa, H., Miyatani, M., Tachi, M., & Fukunaga, T. (2003). *Effect of low-load resistance training on the tendon properties in middle-aged and elderly women*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 178, 25-32.
- Laughlin, M. H., & Roseguini, B. (2008). *Mechanisms for exercise training-induced increases in skeletal muscle blood flow capacity: differences with interval sprint training versus aerobic endurance training*. *Journal of Physiology and Pharmacology: an Official Journal of the Polish Physiological Society*, 59-71.
- Laursen, P. B. (2010). *Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training?* *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20, 1-10.
- Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2005). *Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19, 527-533.
- Lindsay, F. H., Hawley, J. A., Myburgh, K. H., Schomer, H. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1996). *Improved athletic performance in highly trained cyclists after interval training*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28, 1427-1434.
- Linossier, M. T., Denis, C., Dormois, D., Geysant, A., & Lacour, J. R. (1993). *Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 67, 408-414.
- Linossier, M. T., Dormois, D., Perier, C., Frey, J., Geysant, A., & Denis, C. (1997). *Enzyme adaptations of human skeletal muscle during bicycle short-sprint training and detraining*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 161, 439-445.
- Loveless, D. J., Weber, C. L., Haseler, L. J., & Schneider, D. A. (2005). *Maximal leg-strength training improves cycling economy in previously untrained men*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 37, 1231-1236.
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Olivan, J., Gomez-Gallego, F., San Juan, A. F., Santiago, C., & Foster, C. (2006). *Physiological characteristics of the best Eritrean runners—exceptional running economy*. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31, 530-540.

- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J., & Smith, K. M. (1998). *Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training*. *Journal of Applied Physiology*, 84, 2138-2142.
- Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., & Lemon, P. W. (2011). *Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 115-122.
- Martorelli, S., Cadore, E. L., Izquierdo, M., Celes, R., Martorelli, A., Cleto, V. A., & Bottaro, M. (2017). *Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women*. *European Journal of Translational Myology*, 27.
- McArdle, W. D. (2010). *Exercise physiology: nutrition, energy, and human performance*. *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance*, 859.
- McCole, S. D., Claney, K., Conte, J. C., Anderson, R., & Hagberg, J. M. (1990). *Energy expenditure during bicycling*. *Journal of Applied Physiology*, 68, 748-753.
- McKenna, M. J., Heigenhauser, G. J., McKelvie, R. S., MacDougall, J. D., & Jones, N. L. (1997). *Sprint training enhances ionic regulation during intense exercise in men*. *The Journal of Physiology*, 501, 687-702.
- McLaughlin, D., Stamford, J., & White, D. (2008). *Krótkie wykłady. Fizjologia człowieka*. *Polskie Wydawnictwo Naukowe*, 20-22.
- McMurray, R. G., Proctor, C. R., & Wilson, W. L. (1991). *Effect of caloric deficit and dietary manipulation on aerobic and anaerobic exercise*. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 167-172.
- Meyer, T., Lucia, A., Earnest, C. P., & Kindermann, W. (2005). *A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application*. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 38-48.
- Mier, C. M., Turner, M. J., Ehsani, A. A., & Spina, R. J. (1997). *Cardiovascular adaptations to 10 days of cycle exercise*. *Journal of Applied Physiology*, 83, 1900-1906.

- Milanovic Z, Sporis G, Weston M., (2015). *Effectiveness of high- intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO2max improvements: a systematic review and meta- analysis of controlled trials*. Sports Medicine, 1469-1481.
- Mistura, L., Comendador Azcarraga, F. J., D'Addezio, L., Martone, D., & Turrini, A. (2021). *An Italian case study for assessing nutrient intake through nutrition-related mobile apps*. Nutrients, 13, 3073.
- Molmen-Hansen, H. E., Stolen, T., Tjonna, A. E., Aamot, I. L., Ekeberg, I. S., Tyldum, G. A., & Stoylen, A. (2012). *Aerobic interval training reduces blood pressure and improves myocardial function in hypertensive patients*. European Journal of Preventive Cardiology, 19, 151-160.
- Moniz, S. C., Islam, H., & Hazell, T. J. (2020). *Mechanistic and methodological perspectives on the impact of intense interval training on post-exercise metabolism*. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 30, 638-651.
- Morris, S. J., Oliver, J. L., Pedley, J. S., Haff, G. G., & Lloyd, R. S. (2022). *Comparison of weightlifting, traditional resistance training and plyometrics on strength, power and speed: a systematic review with meta-analysis*. Sports Medicine, 52, 1533-1554.
- Naves, J. P. A., Viana, R. B., Rebelo, A. C. S., De Lira, C. A. B., Pimentel, G. D., Lobo, P. C. B., & Gentil, P. (2018). *Effects of high-intensity interval training vs. sprint interval training on anthropometric measures and cardiorespiratory fitness in healthy young women*. Frontiers in Physiology, 9, 1738.
- Nevill, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S., & Williams, C., (1989). *Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting*. Journal of Applied Physiology, 67, 2376-2382.
- Ní Chéilleachair, N. J., Harrison, A. J., & Warrington, G. D. (2017). *HIIT enhances endurance performance and aerobic characteristics more than high-volume training in trained rowers*. Journal of Sports Sciences, 35, 1052-1058.
- Nicholas H. G., Michael V. F., Rod K. D., Kirk J. C., (2013). *Sprint Interval Training Effects on Aerobic Capacity:A Systematic Review and Meta-Analysis*. Sports Medicine, 1-11.
- Nóbrega, S. R., & Libardi, C. A. (2016). *Is resistance training to muscular failure necessary?* Frontiers in Physiology, 7, 10.

- Nóbrega, S. R., Ugrinowitsch, C., Pintanel, L., Barcelos, C., & Libardi, C. A. (2018). *Effect of resistance training to muscle failure vs. volitional interruption at high-and low-intensities on muscle mass and strength*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32, 162-169.
- Osiński, W. (2003). *Antropomotoryka*. Akademia Wychowania Fizycznego w Poznaniu, 226-229.
- Østerås, H., Helgerud, J., & Hoff, J. (2002). *Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans*. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 255-263.
- Pallarés, J. G., Hernández-Belmonte, A., Martínez-Cava, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., & Courel-Ibáñez, J. (2021). *Effects of range of motion on resistance training adaptations: A systematic review and meta-analysis*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31, 1866-1881.
- Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L., & Heigenhauser, G. J. (1999). *Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise*. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 890-900.
- Parra, J., Cadefau, J. A., Rodas, G., Amigo, N., & Cusso, R. (2000). *The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169, 157-165.
- Phillips, S. M., Green, H. J., Tarnopolsky, M. A., Heigenhauser, G. J., & Grant, S. M. (1996). *Progressive effect of endurance training on metabolic adaptations in working skeletal muscle*. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 270, 265-272.
- Poliquin, C. (1997). *The Poliquin Principles. Successful Methods for Strength and Mass Development*. Dayton Writers Group, 154, 9.
- Poole, D. C., & Gaesser, G. A. (1985). *Response of ventilatory and lactate thresholds to continuous and interval training*. *Journal of Applied Physiology*, 58, 1115-1121.
- Pringle JS & Jones AM (2002). *Maximal lactate steady state, critical power and EMG during cycling*. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 214-226.

- Psilander, N., Frank, P., Flockhart, M., & Sahlin, K. (2015). *Adding strength to endurance training does not enhance aerobic capacity in cyclists*. *Scandinavian journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 353-359.
- Rakobowchuk, M., Stuckey, M. I., Millar, P. J., Gurr, L., & MacDonald, M. J. (2009). *Effect of acute sprint interval exercise on central and peripheral artery distensibility in young healthy males*. *European Journal of Applied Physiology*, 105, 787-795.
- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). *Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 89-98.
- Ross, A., & Leveritt, M. (2001). *Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training*. *Sports Medicine*, 31, 1063-1082.
- Sarkin, J., Campbell, J., Gross, L., Roby, J., Bazzo, S., Sallis, J., & Calfas, K. (1997). *Seven-day physical activity recall*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29, 89-103.
- Schantz, P. G., Sjöberg, B., & Svedenhag, J. (1986). *Malate-aspartate and alpha-glycerophosphate shuttle enzyme levels in human skeletal muscle: methodological considerations and effect of endurance training*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, 397-407.
- Schjerve, I. E., Tyldum, G. A., Tjønnå, A. E., Stølen, T., Loennechen, J. P., Hansen, H. E., & Wisløff, U. (2008). *Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults*. *Clinical Science*, 115, 283-293.
- Schoenfeld, B. J., Ratamess, N. A., Peterson, M. D., Contreras, B., Sonmez, G. T., & Alvar, B. A. (2014). *Effects of different volume-equated resistance training loading strategies on muscular adaptations in well-trained men*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28, 2909-2918.
- Seiler, K. S., & Kjerland, G. Ø. (2006). *Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an "optimal" distribution?* *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 16, 49-56.

- 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*. International Journal of Sports Medicine, 7, 13-17.
- Sjödin, B., & Jacobs, I. (1981). *Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance*. International journal of Sports Medicine, 2, 23-26.
- Skinner, J. S., & McLellan, T. H. (1980). *The transition from aerobic to anaerobic metabolism*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 51, 234-248.
- Smith, T. P., McNaughton, L. R., & Marshall, K. J. (1999). *Effects of 4-wk training using V_{max}/T_{max} on VO_{2max} and performance in athletes*. Medicine and Science in Sports and Exercise, 31, 892-896.
- Soria-Gila, M. A., Chiroso, I. J., Bautista, I. J., Baena, S., & Chiroso, L. J. (2015). *Effects of variable resistance training on maximal strength: A meta-analysis*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 29, 3260-3270.
- Spina RJ, Chi MM, Hopkins MG, et al. (1996). *Mitochondrial enzymes increase in muscle in response to 7-10 days of cycle exercise*. Journal of Applied Physiology, 80, 2250-4.
- Sporiš, G., Jovanović, M., Krakan, I., & Fiorentini, F. (2011). *Effects of strength training on aerobic and anaerobic power in female soccer players*. Sport Science, 4, 32-37.
- Steele, J., Fisher, J., Giessing, J., & Gentil, P. (2017). *Clarity in reporting terminology and definitions of set endpoints in resistance training*. Muscle & Nerve, 56, 368-374.
- Stone, M. H., & Karatzaferi, C. (1992). *Connective tissue and bone response to strength training*. Strength and Power in Sport, 279-290.
- Støren, Ø., Helgerud, J. A. N., Støa, E. M., & Hoff, J. A. N. (2008). *Maximal strength training improves running economy in distance runners*. Medicine & Science in Sports & Exercise, 40, 1087-1092.
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). *Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists*. The Journal of Strength & Conditioning Research, 24, 2157-2165.

- Suter, E., Hoppeler, H., Claassen, H., Billeter, R., Aebi, U., Horber, F., & Marti, B. (1995). *Ultrastructural modification of human skeletal muscle tissue with 6-month moderate-intensity exercise training*. *International Journal of Sports Medicine*, 16, 160-166.
- Svedahl, K., & MacIntosh, B. R. (2003). *Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement*. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28, 299-323.
- Swain, D. P., Coast, J. R., Clifford, P. S., Milliken, M. C., & Stray-Gundersen, J. (1987). *Influence of body size on oxygen consumption during bicycling*. *Journal of Applied Physiology*, 62, 668-672.
- Szopa, J., Mleczko, E., & Żak, S. (1996). *Podstawy antropomotoryki*. Polskie Wydawnictwo Naukowe, 78-81, 82-89.
- Thornton, M. K., & Potteiger, J. A. (2002). *Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 34, 715-722.
- Thorstensson, A., Sjödin, B., & Karlsson, J. (1975). *Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 94, 313-318.
- Trilk, J. L., Singhal, A., Bigelman, K. A., & Cureton, K. J. (2011). *Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women*. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 1591-1597.
- Vandbakk, K. (2015). *Effects of upper body sprint interval training on endurance performance, aerobic capacity and work economy in female cross-country skiers during classical roller skiing (Master's thesis)*. Høgskolen i Nord-Trøndelag, 1-42.
- Viana, R. B., Naves, J. P. A., Coswig, V. S., De Lira, C. A. B., Steele, J., Fisher, J. P., & Gentil, P. (2019). *Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT)*. *British Journal of Sports Medicine*, 1-12.
- Vikmoen, O., Ellefsen, S., Trøen, Ø., Hollan, I., Hanestadhaugen, M., Raastad, T., & Rønnestad, B. R. (2016). *Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO₂max and cycling economy in female cyclists*. *Scandinavian journal of Medicine & Science in sports*, 26, 384-396.

- Wasserman, K., Whipp, B. J., Koysl, S. N., & Beaver, W. L. (1973). *Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise*. *Journal of Applied Physiology*, 35, 236-243.
- Westgarth-Taylor, C., Hawley, J. A., Rickard, S., Myburgh, K. H., Noakes, T. D., & Dennis, S. C. (1997). *Metabolic and performance adaptations to interval training in endurance-trained cyclists*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75, 298-304.
- Weston M., Taylor K. L., Batterham A. M., Hopkins W. G., (2014). *Effects of low- volume high- intensity interval training (HIT) on fitness in adults: a meta- analysis of controlled and non- controlled trials*. *Sports Medicine*, 1005-1017.
- Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1996). *Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists*. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75 7-13.
- Weston, A. R., Wilson, G. R., Noakes, T. D., & Myburgh, K. H. (1996). *Skeletal muscle buffering capacity is higher in the superficial vastus than in the soleus of spontaneously running rats*. *Acta Physiologica Scandinavica*, 157, 211-216.
- Wilk, M., Golas, A., Stastny, P., Nawrocka, M., Krzysztofik, M., & Zajac, A. (2018). *Does tempo of resistance exercise impact training volume?* *Journal of Human Kinetics*, 62, 241-250.
- Wilk, M., Tufano, J. J., & Zajac, A. (2020). *The influence of movement tempo on acute neuromuscular, hormonal, and mechanical responses to resistance exercise—a mini review*. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34, 2369-2383.
- Wilk, M., Zajac, A., & Tufano, J. J. (2021). *The influence of movement tempo during resistance training on muscular strength and hypertrophy responses: a review*. *Sports Medicine*, 51, 1629-1650.
- Worn, R. L., Talpey, S. W., & Edwards, T. (2022). *Pedal Quadrant-Specific Strength and Conditioning Considerations for Endurance Cyclists*. *Strength & Conditioning Journal*, 10-1519.

Zatoń, M., & Jastrzębska, A., D., (2010). *Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej*.
Polskie Wydawnictwo Naukowe, 4-7, 12-27.

Streszczenie

Wpływ treningu beztlenowego (sprinterskiego lub siłowego) na zdolności wytrzymałościowe u nietreningujących mężczyzn

Wstęp: Wyczynowy sport wymaga aktualnie specjalistycznego przygotowania kondycyjnego i motorycznego, tak, by maksymalizować wyniki sportowe w krótkim okresie przygotowawczym, a następnie utrzymywać ich poziom jak najdłużej. Również w rekreacji oraz sporcie amatorskim poszukuje się atrakcyjnych form zajęć/treningu, tak aby zachęcić osoby prowadzące siedzący tryb życia do podjęcia aktywności fizycznej. W większości dyscyplin sportowych oraz w życiu codziennym, kluczowa jest wydolność tlenowa, czyli zdolność do wykonywania wysiłków długotrwałych o charakterze wytrzymałościowym. Tradycyjne metody ukierunkowane na poprawę wydolności tlenowej to metody polegające na wykonywaniu długotrwałych wysiłków o charakterze ciągłym lub interwałowym o niskiej lub umiarkowanej intensywności. Z kolei z punktu widzenia sportu, poszukuje się metod treningowych, które byłyby najbardziej efektywne w poprawie wydolności fizycznej. Krótszy, ale bardziej intensywny, trening szybkościowo – siłowy, w porównaniu do ciągłego i monotonnego treningu wytrzymałościowego, może stanowić świetną alternatywę dla dalszych treningów, zwiększając przy tym poziom motywacji i podnosząc wydolność fizyczną, które mogą przekładać się na lepsze wyniki sportowe w sportach o charakterze wytrzymałościowym i/lub stanu zdrowia osób ćwiczących rekreacyjnie. Wśród proponowanych metod treningu o wysokiej intensywności (a więc o podłożu beztlenowym lub beztlenowym) wymienia się najczęściej: interwałowy o wysokiej intensywności (*ang. high intensity interval training (HIIT)*), interwałowy trening sprinterski (*ang. sprint interval training (SIT)*) oraz trening siłowy (oporowy) (*ang. strength training (ST)*). Te metody treningu coraz częściej wykorzystywane są również do poprawy zdolności wytrzymałościowych organizmu. Dotychczasowe dane wskazują, że treningi z dominującym metabolizmem beztlenowym mogą być ciekawą i zarazem skuteczną alternatywą do tradycyjnych metod treningu wytrzymałościowego, polegającego na wykonywaniu długotrwałych wysiłków o niskiej lub umiarkowanej intensywności.

Cel pracy: Celem niniejszej pracy było określenie wpływu różnych form treningu z dominującym metabolizmem beztlenowym na zdolności wysiłkowe organizmu (wydolność tlenową i beztlenową), a w szczególności na zdolności wytrzymałościowe młodych mężczyzn, oceniane za pomocą maksymalnego poboru tlenu oraz drugiego progu

wentylacyjnego. W badaniu wykorzystano dwa odmienne metody treningu beztlenowego, wywołujące różne zmiany i skutki fizjologiczne i biochemiczne. Pierwsza z nich, trening siłowy (ST), ukierunkowana była na poprawę siły mięśni. Druga, interwałowy trening sprinterski (SIT), była ukierunkowana na poprawę szybkości i mocy mięśni. Przyjęto hipotezę, że obie formy treningu beztlenowego będą równie skuteczne w poprawie zdolności wytrzymałościowych jak tradycyjny aerobowy trening interwałowy (AIT). Cel pracy został doprecyzowany następującymi pytaniami badawczymi.

1. Czy trening o charakterze beztlenowym (sprinterski lub siłowy) poprawia wydolność tlenową w podobnym stopniu jak interwałowy trening tlenowy?
2. Czy trening szybkościowy i siłowy oddziałuje w podobny sposób jak interwałowy trening tlenowy na zdolności wytrzymałościowe oceniane z wykorzystaniem progów wentylacyjnych?
3. Czy trening szybkościowy oraz siłowy może być skuteczny w redukcji otłuszczenia ciała wśród badanych osób?
4. Czy po zrealizowanym treningu o charakterze beztlenowym zwiększy się wydolność beztlenowa (moc kończyn dolnych) w podobny sposób jak po treningu o charakterze tlenowym?

Metodyka badań: W badaniach uczestniczyło 60 młodych mężczyzn, którzy byli rekrutowani do czterech grup realizujących różne treningi fizyczne: trening siłowy (ST), trening sprinterski (SIT), trening tlenowy (AIT) oraz grupa bez interwencji (CON). W każdej grupie dwukrotnie (przed i po interwencji wysiłkowej) przeprowadzono pomiary somatyczne oraz test wydolności tlenowej i beztlenowej. Ponadto, u każdego badanego oszacowano deklarowaną aktywność fizyczną oraz dokonano analizy zwyczajowej diety. Zostały także dokonane kryteria włączenia i wyłączenia. Każda interwencja wysiłkowa trwała 6 tygodni, z trzema treningami tygodniowo. Uczestnicy zostali poinstruowani, aby utrzymać swoją zwyczajową dietę i aktywność fizyczną podczas interwencji. Przed rozpoczęciem interwencji uczestnicy zostali zapoznani z procedurami testów wysiłkowych oraz zapoznali się z techniką jazdy na cykloergometrze. Pierwszego dnia badania uczestnicy wzięli udział w pomiarach somatycznych oraz wykonali w odstępie dwóch godzin test wydolności beztlenowej i tlenowej. Pomiary te powtórzono tydzień po zakończeniu treningu. Uczestnicy musieli powstrzymać się od jedzenia na 2 godziny przed testami wysiłkowymi i zostali poproszeni o nieuczestniczenie w żadnych intensywnych ćwiczeniach na 24 godziny przed testami wysiłkowymi oraz o nawadnianie się w tym czasie. Przez kilka dni bezpośrednio przed badaniami wydolnościowymi nie wolno im było spożywać alkoholu ani napojów

zawierających kofeinę. Wszystkie badania przeprowadzone zostały o tej samej porze dnia od godziny 8.00, a badani byli po lekkostrawnym posiłku. Badania wykonane zostały w warunkach laboratoryjnych, w Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie, w Pracowni Fizjologicznych Podstaw Adaptacji. Testy wysiłkowe i treningi odbywały się w zbliżonych warunkach, temperatura otoczenia wynosiła około 21°C, a wilgotność około 40%. Wielkość próby została określona przed rozpoczęciem badań. Do kalkulacji wielkości próby użyto oprogramowania G*Power wersja 3.1.9.7 (Niemcy) z wyborem opcji ANOVA z powtarzanymi pomiarami. Wymagana wielkość próby wynosiła 15 uczestników na grupę (całkowita wielkość próby = 60).

Wyniki: Zarówno treningi o charakterze beztlenowym (SIT i ST), jak również aerobowy trening interwałowy, okazały się skuteczne w poprawie maksymalnego poboru tlenu. Wykazano, że we wszystkich trenujących grupach nastąpiło istotne zwiększenie absolutnych wielkości VO_{2max} , a wielkość efektu była porównywalna w grupie ST ($p < 0,001$; $ES = 0,50$), SIT ($p = 0,008$; $ES = 0,39$) oraz AIT ($p = 0,005$; $ES = 0,55$). Ponadto, wszystkie trzy metody treningu spowodowały istotne zwiększenie się maksymalnej mocy uzyskiwanej w teście stopniowanym. Treningi beztlenowe nie wpłynęły na submaksymalny poziom tj. na poziomie pierwszego i drugiego progów wentylacyjnego mocy oraz poboru tlenu. Jedynie trening o charakterze tlenowym, wywołał zmiany tych parametrów: zwiększenie mocy i VO_2 na poziomie VT I oraz VO_2 na poziomie VT II. wszystkie treningi (ST, SIT i AIT) poprawiły szczytową moc beztlenową, a tylko SIT i ST poprawiły beztlenową moc średnią w teście Wingate. Żaden z treningów nie zredukował istotnie otłuszczenia ciała. Jedynie istotne zmiany zaszły w poziomie LBM w grupie ST, w której odnotowano zwiększenie LBM.

Wnioski: Trening z dominującym metabolizmem beztlenowym, zarówno sprinterski jak i siłowy, okazał się skuteczną metodą treningu wydolności tlenowej. Po SIT i ST oraz AIT istotnie zwiększył się maksymalny minutowy pobór tlenu badanych mężczyzn, a obserwowana wielkość efektu była porównywalna w badanych grupach. Zdolności wytrzymałościowe, oceniane za pomocą progów wentylacyjnych, nie uległy istotnym zmianom pod wpływem treningu beztlenowego, zarówno o charakterze sprinterskim jak i siłowym. Jedynie interwałowy trening tlenowy wpłynął korzystnie na poziom mocy i pobór tlenu na poziomie progów wentylacyjnych. Żaden z treningów (SIT, ST, AIT) nie spowodował istotnej redukcji otłuszczenia ciała badanych mężczyzn. Jedynie po treningu siłowym obserwowano istotne zwiększenie beztłuszczowej masy ciała mężczyzn. Treningi o charakterze beztlenowym (SIT i ST) istotnie zwiększyły moc beztlenową moc szczytową i średnią, co może świadczyć o poprawie wydolności fosfagenowej i glikolitycznej.

Interwałowy trening tlenowy, wykonywany na ergometrze rowerowym, spowodował istotne zwiększenie jedynie mocy szczytowej badanych mężczyzn. Treningi z dominującym metabolizmem beztlenowym mogą być uzupełnieniem interwałowego treningu tlenowego lub skuteczną alternatywą dla interwałowego treningu tlenowego w kształtowaniu wydolności tlenowej i beztlenowej, szczególnie w sportach o mieszanym podłożu energetycznym (anaerobowo-aerobowym).

Abstract

The Effects of Anaerobic Training (Sprint or Strength) on Endurance Performance in Untrained Men

Introduction: High-performance sports currently require specialized fitness and motor preparation so as to maximize athletic performance in the short preparation period and then maintain its level for as long as possible. Also in recreation and amateur sports, attractive forms of activities/training are being sought so as to encourage people with sedentary lifestyles to take up physical activity. In most sports and in everyday life, aerobic capacity, i.e. the ability to perform prolonged efforts of an endurance nature, is crucial. Traditional methods aimed at improving aerobic capacity are those that involve performing prolonged efforts of a continuous or interval nature at low to moderate intensity. From a sporting perspective, on the other hand, training methods are sought that would be most effective in improving aerobic capacity. Shorter, but more intense, speed and strength training, compared to continuous and monotonous endurance training, can be a great alternative for further training, while increasing motivation levels and improving physical capacity, which can translate into better sports performance in endurance sports and/or the health of recreational exercisers. Among the proposed methods of high-intensity (and therefore anaerobic or anaerobic-based) training, the most common are high intensity interval training (HIIT), sprint interval training (SIT) and strength training (resistance) (ST). These training methods are also increasingly being used to improve the body's endurance capacity. The data so far indicate that training with a dominant anaerobic metabolism can be an interesting yet effective alternative to traditional endurance training methods of performing prolonged efforts of low to moderate intensity.

Objective: The purpose of this study was to determine the effects of different forms of training with dominant anaerobic metabolism on the body's exercise capacity (aerobic and anaerobic capacity), and in particular on the endurance capacity of young men, as assessed by

maximum oxygen uptake and second ventilatory threshold. The study used two different methods of anaerobic training, producing different physiological and biochemical changes and effects. The first, strength training (ST), targeted improvements in muscle strength. The second, sprint interval training (SIT), was aimed at improving muscle speed and power. It was hypothesized that both forms of anaerobic training would be as effective in improving endurance capacity as traditional aerobic interval training (AIT). The purpose of the study was refined with the following research questions.

1. Does anaerobic training (sprinting or strength training) improve aerobic capacity to a similar degree as aerobic interval training?
2. Does speed and strength training have a similar effect as interval aerobic training on endurance capacity assessed using ventilation thresholds?
3. Can speed and strength training be effective in reducing body fatness among the subjects?
4. Will anaerobic capacity (lower limb power) increase in a similar way to aerobic training after anaerobic training?

Methods: The study involved 60 young men who were recruited into four groups performing different physical training: strength training (ST), sprint training (SIT), aerobic training (AIT) and a group without intervention (CON). In each group, somatic measurements and an aerobic and anaerobic capacity test were performed twice (before and after the exercise intervention). In addition, each subject's declared physical activity was estimated and habitual diet was analyzed, and inclusion and exclusion criteria were made. Each exercise intervention lasted six weeks, with three workouts per week. Participants were instructed to maintain their usual diet and physical activity during the intervention. Prior to the intervention, participants were introduced to the exercise testing procedures and familiarized with the cycloergometer technique. On the first day of the study, participants took somatic measurements and performed an anaerobic capacity test two hours apart and aerobic capacity. These measurements were repeated one week after the training. Participants had to refrain from eating for two hours before the exercise tests and were asked not to participate in any intense exercise 24 hours before the exercise tests, and to hydrate during this time. They were not allowed to consume alcohol or caffeinated beverages for several days immediately before the performance tests. All tests were conducted at the same time of day starting at 8 a.m., and the subjects were after a lightly digested meal. The studies were performed under laboratory

conditions, at the Academy of Physical Education in Cracow, Poland, at the Laboratory of Physiological Basis of Adaptation. Exercise tests and workouts took place under similar conditions, with an ambient temperature of about 21°C and humidity of about 40%. The sample size was determined before the study began. G*Power software version 3.1.9.7 (Germany) was used to calculate the sample size, with the ANOVA option selected with repeated measures. The required sample size was 15 participants per group (total sample size = 60).

Results: Both anaerobic training (SIT and ST) and aerobic interval training were effective in improving maximal oxygen uptake. It was shown that there was a significant increase in absolute VO₂max in all training groups, and the effect size was comparable in the ST ($p < 0.001$; ES=0.50), SIT ($p = 0.008$; ES=0.39) and AIT ($p = 0.005$; ES=0.55) groups. In addition, all three training methods resulted in significant increases in the maximum power obtained in the graded test. Anaerobic training had no effect on submaximal levels i.e. at the level of the first and second ventilatory thresholds. Only training of an aerobic nature, induced changes in these parameters: increased power and VO₂ at the level of VT I and VO₂ at the level of VT II. All workouts (ST, SIT and AIT) improved anaerobic peak power, while only SIT and ST improved anaerobic average power in the Wingate test. None of the workouts significantly reduced body fatness. Only significant changes occurred in LBM levels in the ST group, which showed an increase in LBM.

Conclusions: Training with a dominant anaerobic metabolism, both sprinting and strength training, proved to be an effective method of training aerobic capacity. After SIT and ST, as well as AIT, the maximal oxygen intake of the male subjects increased significantly, and the observed effect size was comparable in the study groups. Endurance capacity, assessed by ventilatory thresholds, did not change significantly under the influence of anaerobic training, whether sprinting or strength training. Only interval aerobic training had a positive effect on power levels and oxygen uptake at ventilatory thresholds. None of the workouts (SIT, ST, AIT) resulted in a significant reduction in body fatness of the male subjects. Only after strength training was a significant increase in the men's lean body mass observed. Anaerobic training (SIT and ST) significantly increased anaerobic peak and average power, which may indicate an improvement in phosphagen and glycolytic performance. Interval aerobic training, performed on a bicycle ergometer, significantly increased only the peak power of the male subjects. Training with dominant anaerobic metabolism can be a complement to interval aerobic training or an effective alternative to interval aerobic training in shaping aerobic and

anaerobic capacity, especially in sports with mixed energy (anaerobic-anaerobic) backgrounds.



Komisja Bioetyczna
przy Okręgowej Izbie Lekarskiej
w Krakowie

Nr 187 /KBL/OIL/2022 z dnia 1 lipca 2022 r.

Na posiedzeniu w dniu 1 lipca 2022 r. Komisja zapoznała się z wnioskiem (dokumentacja w załączeniu) złożonym przez :

Koordinator Badania: mgr Aleksander Drwal
Akademia Wychowania Fizycznego, Centralne Laboratorium Naukowo –
Badawcze AWF w Krakowie, Al. Jana Pawła II 78, 31-571 Kraków

Tytuł badania:” Wpływ treningu beztlenowego (Siłowego i
szybkościowego) na zdolności wytrzymałościowe”

Do wniosku dołączono:

Wniosek w sprawie wyrażenia zgody na przeprowadzenie eksperymentu
medycznego

Protokół badania

Streszczenie protokołu

Życiorys głównego badacza

Informacja dla pacjenta

Formularz Świadomej Zgody Pacjenta z klauzulą o „Ochronie Danych Osobowych”

Kserokopia polisy ubezpieczeniowej OC lekarza nadzorującego badanie

Kserokopia polisy ubezpieczeniowej Ośrodka, w którym będzie realizowane badanie

Komisja wyraża zgodę na przeprowadzenia badania na warunkach
przedstawionych we wniosku.

Zgoda Komisji dla Ośrodka jest ważna do dnia ważności Polisy Ubezpieczeniowej Skład i działanie Komisji zgodne z zasadami Dobrej Praktyki Klinicznej (GCP) oraz wymogami lokalnymi

Lista członków Komisji biorących udział w posiedzeniu stanowi załącznik do niniejszego dokumentu.

Pouczenie: W ciągu 14 dni od otrzymania niniejszej opinii Wnioskodawcy przysługuje prawo odwołania do Komisji Odwoławczej za pośrednictwem Komisji Bioetycznej przy OIL w Krakowie

Kraków, dnia 08.07.2022 r.

Przewodniczący Komisji Bioetycznej
przy OIL w Krakowie

Dr Mariusz Janikowski

ul. Krupnicza 11 a, 31-123 Kraków
tel. 12 619 17 12
e-mail: a.krawczyk@hipokrates.org

Konto Komisji Bioetycznej
Bank PKO S.A.
65 1240 4650 1111 0000 5149 3957

Spis rycin i tabel

Ryciny

Rycina 1. Schemat kontinuum energetycznego.....	4
Rycina 2. Progi metaboliczne.....	7
Rycina 3. Przebieg badań.....	17
Rycina 4. Liczba spożytych kilokalorii według wydatku energetycznego w ciągu dnia podczas interwencji treningowej.....	33
Rycina 5. Dzielne spożycie białka w poszczególnych grupach treningowych.....	33
Rycina 6. Dzielne spożycie węglowodanów w poszczególnych grupach treningowych.....	34
Rycina 7. Dzielne spożycie tłuszczu w poszczególnych grupach treningowych.....	34
Rycina 8. Zmiana masa ciała po interwencji treningowej.....	37
Rycina 9. Zmiana beztłuszczowej masy ciała po interwencji treningowej.....	37
Rycina 10. Zmiana procentowej ilości tkanki tłuszczowej po interwencji treningowej.....	38
Rycina 11. Zmiany całkowitej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn	41
Rycina 12. Zmiany relatywnej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	42
Rycina 13. Zmiany całkowitej mocy szczytowej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	42
Rycina 14. Zmiany relatywnej mocy średniej pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	43
Rycina 15. Wpływ treningu na spadek mocy w teście Wingate.....	43
Rycina 16. Zmiany całkowitej mocy maksymalnej w teście stopniowanym pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	46
Rycina 17. Zmiany relatywnej mocy maksymalnej w teście stopniowanym pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	46

Rycina 18. Zmiany maksymalnej częstości skurczów serca pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	47
Rycina 19. Zmiany absolutnego maksymalnego minutowego poboru tlenu pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	47
Rycina 20. Zmiany relatywnego maksymalnego minutowego poboru tlenu pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	48
Rycina 21. Zmiany intensywności pracy (% HR_{max}) na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	50
Rycina 22. Zmiany intensywności pracy (% VO_{2max}) na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	50
Rycina 23. Zmiany intensywności pracy (% HR_{max}) na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	52
Rycina 24. Zmiany intensywności pracy (% VO_{2max}) na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	53

Tabele

Tabela 1. Zależność czasu trwania wysiłku fizycznego w wyznaczonej intensywności a główny system energetyczny.....	5
Tabela 2. Rekomendacje do treningu oporowego.....	13
Tabela 3. Zasady doboru intensywności w zależności od oczekiwanego efektu treningowego.....	23
Tabela 4. Szczegółowy plan treningowy zrealizowany przez grupę ST.....	24
Tabela 5. Tygodniowa aktywność fizyczna przed interwencją wśród badanych osób.....	30
Tabela 6. Liczba spożytych kilokalorii oraz makroskładników wśród badanych osób w trakcie interwencji treningowej.....	32
Tabela 7. Wiek oraz cechy somatyczne wśród badanych osób przed i po interwencji treningowej.....	36
Tabela 8. Wyniki testu Wingate przed i po interwencji treningowej.....	40
Tabela 9. Wyniki testu stopniowanego przed i po interwencji treningowej.....	45
Tabela 10. Zmiany badanych wskaźników na poziomie pierwszego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	49
Tabela 11. Zmiany badanych wskaźników na poziomie drugiego progu wentylacyjnego pod wpływem treningu u badanych mężczyzn.....	51