

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO

im. Bronisława Czecha w Krakowie



WYDZIAŁ WYCHOWANIA FIZYCZNEGO I SPORTU

ROZPRAWA DOKTORSKA

Mgr PIOTR SNOPKOWSKI

WPŁYW TRENINGU SPECJALISTYCZNEGO W OKRESIE PRZYGOTOWAWCZYM,
W KOMORZE HIPOKSYJNEJ NA ZDOLNOŚCI MOTORYCZNE,
WYDOLNOŚĆ ORAZ MOŻLIWOŚCI ADAPTACYJNE ORGANIZMU DO STRESU
OKSYDACYJNEGO U BOKSERÓW NA POZIOMIE MISTRZOWSKIM KRAJOWYM

Promotor:

Prof. dr hab. Tadeusz Ambroży

Promotor pomocniczy:

Prof. dr hab. Zygmunt Warzecha

Kraków 2024

Spis treści

Abstrakt	4
Abstract.....	6
Spis stosowanych skrótów i symboli.....	8
1. Wstęp.....	12
1.1. Planowanie procesu treningowego w boksie.....	12
1.2. Wpływ koordynacji ruchowej i zdolności motorycznych na efektywność walki sportowej	21
1.3. Współzależność między obciążeniem treningowym a stanem organizmu zawodnika.....	27
1.4. Negatywne efekty zdrowotne będące wynikiem wykonywania ciężkich wysiłków fizycznych.....	32
1.5. Trening wysokościowy w warunkach hipoksji	35
1.6. Wpływ obciążenia wysiłkiem na równowagę prooksydacyjno – antyoksydacyjną	42
1.7. Cel pracy.....	47
2. Materiał i metody badań	49
2.1. Charakterystyka badanej grupy	49
2.2. Ogólny schemat organizacji badań.....	50
2.3. Pomiary somatyczne.....	51
2.4. Pomiary biochemiczne i morfologiczne.....	52
2.5. Równowaga pro-oksydacyjna	53
2.6. Mleczan (La)	53
2.7. Badanie moczu	53
2.8. Pomiary zdolności motorycznych - Eurofit.....	54
2.9. Test stopniowany.....	56
2.10. Test Wingate (kończyny dolne)	57
2.11. Program treningowy	57
2.12. Analiza statystyczna i sposób prezentacji wyników	59
3. Wyniki	61
3.1. Wskaźniki somatyczne	61
3.2. Wskaźniki biochemiczne i morfologiczne	65
3.3. Wskaźniki równowagi pro-oksydacyjnej	71

3.4. Wskaźniki badania moczu.....	75
3.5. Wskaźniki motoryczne	76
3.6. Poziom wydolności tlenowej.....	79
3.7. Wskaźniki powysiłkowe.....	96
4. Dyskusja.....	109
4.1. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na somatykę	110
4.2. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wskaźniki biochemiczne i morfologiczne oraz równowagę pro-oksydacyjną	112
4.3. Wpływ eksperymentalnego treningu na zdolności motoryczne.....	121
4.4. Wpływ treningu w warunkach hipoksji normo barycznej i normoksji na poziom wydolności tlenowej.....	123
4.5. Wpływ eksperymentalnego treningu w warunkach hipoksji na wskaźniki powysiłkowe.....	128
5. Wnioski	132
6. Ograniczenia.....	135
Piśmiennictwo.....	136
Spis rycin.....	153
Spis tabel	156

Abstrakt

W badaniach nad bokserami na poziomie mistrzowskim krajowym skupiono się na ocenie wpływu treningu w komorze hipoksyjnej na ich zdolności motoryczne, wydolność i adaptację do stresu oksydacyjnego. Zastosowany eksperyment miał na celu sprawdzenie, czy hipoksja może poprawić parametry wydolnościowe, takie jak wydolność tlenowa i beztlenowa, a także wpłynąć na zmiany w równowadze oksydacyjno-redukcyjnej organizmu.

Za główny cel pracy przyjęto ocenę efektów eksperymentalnego programu treningowego, w warunkach hipoksji normobarycznej w okresie przygotowawczym na wybrane zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym.

Uwzględniając dotychczasowe doniesienia naukowe można postawić hipotezę główną, iż trening specjalistyczny w okresie przygotowawczym w komorze hipoksyjnej wywiera wpływ na zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym. Do hipotezy głównej postawiono następujące hipotezy szczegółowe:

1. Zastosowany trening eksperymentalny w warunkach hipoksji normobarycznej poprawia poziom badanych zdolności motorycznych.
2. Zastosowany trening eksperymentalny poprawia poziom wydolności tlenowej i beztlenowej badanych zawodników.

Aby móc przyjąć lub odrzucić powyższe hipotezy badawcze podczas planowania projektu postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy zastosowany trening eksperymentalny w warunkach hipoksji normobarycznej wpłynął na poziom badanych parametrów morfologicznych i funkcjonalnych organizmu?
2. Czy trening bokserski w okresie przygotowawczym, realizowany w warunkach hipoksji normobarycznej powoduje zmiany wydolności aerobowej i anaerobowej u zawodników z grupy eksperymentalnej, a jeżeli tak, to jaki jest kierunek tych zmian?
3. Czy eksperymentalny trening wpłynął na badane zdolności motoryczne, jeżeli tak, to w jakim kierunku i stopniu?

4. Czy stosowanie eksperymentalnego treningu w warunkach hipoksji wpływa na wielkość stresu oksydacyjnego i stan równowagi oksydacyjno-redukcyjnej ustroju?
5. Czy zastosowanie proponowanego treningu, ze względu na jego intensywność prowadzi do uszkodzeń takich narządów jak serce, nerki, trzustka lub wątroba w grupie podlegających mu bokserów?

Badania przeprowadzono na grupie 20 bokserów podzielonych na grupy eksperymentalną (hipoksja) i kontrolną (normoksja). Zawodnicy byli monitorowani pod kątem parametrów somatycznych, biochemicznych i wydolnościowych przed, w trakcie i po treningu. W sześciotygodniowym treningu wzięto pod uwagę takie zmienne jak masa ciała, skład ciała oraz zdolności motoryczne oceniane za pomocą testów Eurofit, w tym skok w dal, siła ręki, czy podciąganie na drążku.

Badania dotyczące wpływu treningu w hipoksji i normoksji na bokserów na poziomie mistrzowskim wykazały, że trening w hipoksji nie prowadził do istotnych zmian w masie ciała, składzie tkanki tłuszczowej ani parametrach krwi w porównaniu do treningu w normoksji. Obserwowane zmiany były minimalne i nie osiągnęły istotności statystycznej. Pod względem wydolności fizycznej, nie zaobserwowano znaczących różnic w maksymalnej częstości akcji serca (HR max), wentylacji płuc czy VO_{2max} między grupami. Analiza wyników wskazała na tendencje zmniejszenia HR max i zmiany w wentylacji płuc w grupie trenującej w hipoksji, ale efekty były niewielkie. W zakresie wydolności anaerobowej, trening w hipoksji oraz normoksji poprawił pojemność anaerobową, zdolność eliminacji mleczanu i moc, ale różnice między warunkami były minimalne. Trening w hipoksji nie przyniósł istotnych korzyści w porównaniu do normoksji. Wyniki sugerują, że trening w hipoksji nie miał znaczącego wpływu na poprawę zdolności motorycznych i wydolności tlenowej, co może wynikać z krótkiego okresu treningu i małej próbki badawczej. Potrzebne są dalsze badania, aby lepiej zrozumieć potencjalne korzyści i ograniczenia treningu w hipoksji.

Słowa kluczowe: wydolność tlenowa, wydolność beztlenowa, boks, niedotlenienie normobaryczne, hipoksja, normoksja, zdolności motoryczne, wskaźniki biochemiczne, wskaźniki morfologiczne, trening eksperymentalny, równowaga pro-oksydacyjna

Abstract

Research on national-level professional boxers focused on assessing the impact of training in a hypoxic chamber on their motor skills, endurance, and adaptation to oxidative stress. The experiment aimed to determine whether hypoxia could improve performance parameters such as aerobic and anaerobic endurance and influence changes in the oxidative-reductive balance of the body.

The main objective of this study was to evaluate the effects of an experimental training program, conducted under normobaric hypoxic conditions during the preparatory period, on selected motor skills, endurance, and the body's adaptive capabilities to oxidative stress in national-level elite boxers.

Based on existing scientific evidence, the main hypothesis was that specialized training during the preparatory period in a hypoxic chamber affects motor skills, endurance, and the body's adaptive capacity to oxidative stress in national-level boxers. Specific hypotheses included:

1. The experimental training conducted under normobaric hypoxic conditions improves the level of the tested motor skills.
2. The experimental training improves the aerobic and anaerobic capacity of the tested athletes.

To accept or reject the above research hypotheses, the following research questions were posed during the project planning:

1. Did the experimental training conducted under normobaric hypoxic conditions affect the level of the tested morphological and functional parameters of the body?
2. Does boxing training during the preparatory period, conducted under normobaric hypoxic conditions, cause changes in aerobic and anaerobic capacity in athletes from the experimental group, and if so, what is the direction of these changes?
3. Did the experimental training affect the studied motor skills, and if so, to what extent and in what direction?
4. Does the experimental training in hypoxic conditions affect oxidative stress and the oxidative-reductive balance of the body?
5. Does the proposed training, due to its intensity, lead to damage to organs such as the heart, kidneys, pancreas, or liver in the participating boxers?

The study was conducted on a group of 20 boxers divided into experimental (hypoxia) and control (normoxia) groups. The athletes were monitored for somatic, biochemical, and endurance parameters before, during, and after training. In the six-week training program, variables such as body weight, body composition, and motor skills were considered, assessed using Eurofit tests, including standing long jump, hand grip strength, and pull-ups.

The findings indicated that hypoxic training did not lead to significant changes in body mass, body fat composition, or blood parameters compared to normoxic training. Observed changes were minimal and not statistically significant. Regarding physical endurance, there were no significant differences in maximum heart rate (HR max), lung ventilation, or VO_{2max} between the groups. Results showed a trend towards decreased HR max and changes in lung ventilation in the hypoxia group, but the effects were minor.

In terms of anaerobic endurance, both hypoxic and normoxic training improved anaerobic capacity, lactate elimination, and power, but differences between conditions were minimal. Hypoxic training did not provide significant benefits compared to normoxic training. The results suggest that hypoxic training did not significantly impact motor skills and aerobic endurance, which may be attributed to the short training period and small sample size. Further research is needed to better understand the potential benefits and limitations of hypoxic training.

Keywords: aerobic endurance, anaerobic endurance, boxing, normobaric hypoxia, hypoxia, normoxia, motor skills, biochemical indicators, morphological indicators, experimental training, pro-oxidative balance

Spis stosowanych skrótów i symboli

Symbol/skrót	Opis	Jednostka
ADP	adenozyno dwufosforan	
AKI	(ang. acute kidney injury) = ostre uszkodzenie nerek	
AMP	monofosforan	
AR	strefa regeneracji aktywnej	
AT	próg tlenowy	
ATP	adenozyno trójfosforan - beztlenowa resynteza	
B12	witamina	
BH	wysokość ciała	[cm]
BIA	bioimpedancja elektryczna	
BM	masa ciała	[kg]
BMI	indeks masy ciała (wskaźnik Queteleta II)	[kg·m ²]
BP	ciśnienie tętnicze krwi; BPs – skurczowe, BPd – Rozkurczowe	[kg·m ²]
bpm	(ang. beats per minute) = uderzenia na minutę	
Ca	wapń	[mmol·l ⁻¹]
Cl	chlor	[mmol·l ⁻¹]
cm	centymetry	
CMIA	(ang. chemiluminescent microparticle immunoassays) = znacznik <i>chemiluminescencyjny</i>	
CO ₂	dwutlenek węgla	
DNA	kwasy deoksyrybonukleinowe	
DPG	difosfoglicerynian	
EPO	erytropoetyna	
ExcCO ₂	(ang. the excess carbon dioxide emissions) = nadmierna emisja dwutlenku węgla)	
F	opór	
Fe	żelazo	[mmol·l ⁻¹]
FFM	(ang. fat-free mas) = beztłuszczowa masa ciała	
FI	wskaźnik spadku mocy	

FM	(ang. fat mass) = tłuszczowa masa ciała	
GSH+GSSG	glutation	
h	godzina	
H ⁺	stężenie jonów wodorowych	
H ₂ CO ₃ /HCO ₃ ⁻	bufor wodorowęglanowy	
H ₂ O	woda	
H ₂ O ₂	nadtlenek wodoru	
HCT	hemokryty	
HGB	hemoglobina	
HI	strefa wysokiej intensywności	
HR	częstotliwość skurczów serca	[sk. · min ⁻¹]
IHE	(ang. intermittent hypoxic exposure) = przerywana ekspozycja na niedotlenienie w spoczynku	
IHIT	(ang. intermittent hypoxic exposure during interval training) = przerywana ekspozycja na niedotlenienie podczas treningu interwałowego	
IHT	(ang. intermittent hypoxic training) = przerywany trening hipoksji	
IIS	strefa wysokiej intensywności	
j. w.	jak wyżej	
K	potas	[mmol · l ⁻¹]
kg	kilogram	
LA	maksymalny poziom zakwaszenia	[mmol · l ⁻¹]
LBM	beztłuszczowa masa ciała	[kg]
LH-TH	(ang. live high –train high) = mieszkaj wysoko – trenuj wysoko – klasyczny trening wysokogórski	
LH-TL	(ang. live high – train low) = mieszkaj wysoko – trenuj nisko	
LH- TLH	(ang. live high – train low and high) = mieszkaj wysoko – trenuj nisko i wysoko	
LI	strefa niskiej intensywności	
LL -TH	(ang. live low – train high) = mieszkaj nisko – trenuj wysoko	
max	maksymalny	
Mb	mioglobina	

MDA	(ang. malondialdehyde) = osoczowy poziom dialdehydu molonowego	
Mg	magnez	[mmol·l ⁻¹]
MI	strefa średniej intensywności	
min	minuta	
ml	mililitry	
m n. p. m.	metrów nad poziomem morza	
mmol	minimol/mol	
MP	średnia moc	
Na	sód	[mmol·l ⁻¹]
NGAL	(ang. neutrophil gelatinase-associated lipocalin) = poziom lipokaliny związanej z żelatynazą neutrofilów	
NH ₃	amoniak	
n. p. m.	nad poziomem morza	
P	potas	[mmol·l ⁻¹]
P _{O2}	ciśnienie tlenu	[kPa]
PaO ₂	ciśnienie parcjalne tlenu	
pCO ₂	ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla	[mm Hg]
pH	ilościowe określenie kwasowości i zasadowości roztworu wodnego	
PHE	(ang. prolonged hypoxic exposure) = przedłużona ekspozycja na niedotlenienie	
P _i	fosforany nieorganiczne	
P max	moc maksymalna	[W i W·kg ⁻¹]
PP	szczytowa moc beztlenowa	
PPB	próg przemian beztlenowych	
RBC	erytrocyty	
RBF	przepływ nerkowy	[ml·min ⁻¹]
RCP	próg beztlenowy	
RER	stosunek oddechu do wymiany tlenu	
RET	retikulocyty	
RFT	reaktywne formy tlenu	
ROS	(ang. reactive oxygen species) = wolne rodniki tlenowe (reaktywne formy tlenu)	

RPA	równowaga pro-antyoksydacyjna	
RPP	wydolność beztlenowa	
s	sekunda	
S ₀₂	saturation tlenu	
SOD	dysmutaza ponadtlenkowa (<i>superoxide dismutase</i>)	
Ta	czas uzyskania mocy maksymalnej	[s]
TBARS	poziom produktów peroksydacji reagujących z kwasem tiobarbiturowym	
Tm	czas utrzymania mocy maksymalnej	[s]
tPP	czas potrzebny do osiągnięcia mocy szczytowej	[s]
TW	praca całkowicie wykonana	
V	prędkość	
VE	wentylacja płuc	
VCO ₂ max	maksymalna produkcja dwutlenku węgla	
VO ₂	minutowy pobór tlenu	[ml·kg ⁻¹ , l·min ⁻¹]
VO ₂ max	maksymalne zużycie tlenu	[ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]
VT2	drugi prób wentylacyjny	
W	wat	
WAnT	(ang. Wingate Anaerobic Test) – test WINGATE	
WBC	leukocyty	
WMADH	(ang. World Medical Association Declaration of Helsinki)	
Wtot	wielkość wykonanej pracy	[J· kg ⁻¹]

1. Wstęp

1.1. Planowanie procesu treningowego w boksie

Współczesne dyscypliny sportowe można podzielić na dyscypliny typowo wytrzymałościowe (wysiłki długotrwałe), szybkościowo-siłowe (wysiłki krótkotrwałe o bardzo dużej intensywności) oraz na dyscypliny, które mają zarówno charakter wytrzymałościowy, jak i szybkościowo-siłowy (np. gry zespołowe). Podstawowe kryterium tego podziału wynika z przemian energetycznych. W metodyce treningu każdej dyscypliny sportowej uwzględnia się odpowiednie proporcje pracy przeznaczonej na kształtowanie sprawności fizycznej ogólnej i specjalnej oraz techniki i taktyki. Cały proces szkolenia sportowego zawodników na wszystkich etapach musi zostać oparty na racjonalnym planowaniu pracy i ciągłej kontroli prowadzonej działalności [Adach, Naczek 2015; Naglak 1999; Sozański 1999].

Walka na pięści znana była już w czasach prehistorycznych, kiedy silne pięści były ważnym czynnikiem zachowania życia. Jak pokazują starożytne malowidła egipskie już ok. 4 tys. lat temu toczono walki na pięści chronione przez prymitywne rękawice. W starożytności była to brutalna walka na pięści, które chronione były pasami miękkiej skóry. Pierwszym mistrzem olimpijskim w walce na pięści został na 23 Igrzyskach Olimpijskich w 688 r. p.n.e. Onomastes ze Smyrny [Chaabe'ne i wsp., 2014; Karpiński 2020a]. Zmniejszenie brutalności walki nastąpiło po 1743 r., kiedy to Jack Broughton wprowadził pierwsze przepisy dla tej dyscypliny „Rules of the Ring” [Depa 2008]. Przepisy te nakazywały używania rękawic również w czasie treningu i wprowadzono pół minutową przerwę po knock-downie [Karpiński 2020a]. Później, stopniowo wprowadzano do niego kolejne zasady, doskonalono technikę i taktykę, wprowadzano specjalistyczne metody szkoleniowe i treningowe. W XIX w. wprowadzono tzw. zasady Queensberry, które wprowadziły ograniczenie liczby rund oraz zakaz uderzeń w głowę przeciwnika, który znajdował się na ziemi [Durjasz 2012]. W czasach nowożytnych dopiero w 1904 r. Amerykanie wprowadzili boks do igrzysk. Zawody rozgrywano w 7 kategoriach wagowych [Chaabe'ne i wsp., 2014; Karpiński 2020a]. Współcześnie walka przeprowadzana jest w miękkich rękawicach, na ograniczonej przestrzeni (ring), w ramach określonych rund, w określonych kategoriach wagowych i porównywalnej klasie sportowej. Walka bokserska rozgrywana jest w trzech rundach, które trwają po trzy

minuty. Takie podejście zapewnia wyrównany stosunek sił walczących. Walka naringu cechuje się wysoką intensywnością działań, przez co stawia organizmowi boksera duże wymagania. Dlatego też bardzo ważne w planowaniu treningu zawodników uprawiających boks jest harmonijne uwzględnienie doskonalenia techniczno-taktycznego oraz rozwoju siły mięśniowej, szybkości, koordynacji ruchowej i wytrzymałości oraz zdolności psychomotorycznych. Bokser musi też posiadać umiejętność planowania i ekonomicznego gospodarowania swoimi siłami [Čepulėnas i wsp. 2011; Ambroży i wsp. 2015].

W XX w. boks zdobył popularność na całym świecie, stając się jedną z najchętniej oglądanych dyscyplin sportowych. Legendy takie jak Muhammad Ali, Joe Frazier, Mike Tyson czy Manny Pacquiao przyczyniły się do wzrostu popularności tego sportu, nie tylko poprzez swoje osiągnięcia w ringu, ale również dzięki osobowościom, które przyciągały uwagę mediów i fanów na całym świecie. Z biegiem czasu dyscyplina ta przekształciła się w sport o globalnym zasięgu, przyciągający miliony fanów na całym świecie. Współczesny boks nie jest jedynie brutalną walką na ringu, ale również sztuką wymagającą znakomitej kondycji fizycznej, szybkości, zwinności i strategii.

W boksie, oprócz umiejętności fizycznych, niezwykle ważna jest psychika zawodnika. Często mówi się, że boks to w 90% sport mentalny. Zawodnicy muszą radzić sobie z presją, stresem, a także z bólem. Długie godziny spędzone na treningach, ścisła dieta, a także wyrzeczenia osobiste sprawiają, że tylko najbardziej zdeterminowani osiągają sukcesy.

Boks to również wielki biznes. Organizacja walk o tytuły mistrzowskie, szczególnie w wadze ciężkiej, generuje milionowe przychody, zarówno z biletów, jak i transmisji telewizyjnych. Przykładem może być walka Floyd Mayweathera Jr. z Mannym Pacquiao w 2015 r., która przyniosła ponad 600 milionów dolarów przychodu, stając się jednym z najbardziej dochodowych wydarzeń sportowych w historii.

Na popularność boksu wpływa również rozwój nowych technologii. Dzięki transmisjom na żywo w telewizji, a obecnie także na platformach streamingowych, boks dociera do szerszej publiczności niż kiedykolwiek wcześniej. Media społecznościowe umożliwiają fanom śledzenie przygotowań ich ulubionych zawodników do walk, a także bieżące komentowanie wydarzeń związanych z boksem.

Trening wyczynowy jest realizowany zgodnie z wypracowanymi metodami i procedurami. Uczestniczy w nim wyselekcjonowana grupa, która uczestniczy w systemie rywalizacji i współzawodnictwa. Jest ona prowadzona i ukierunkowana na osiągnięcie w przyszłości możliwie najlepszych wyników sportowych w danej konkurencji [Ziemiński 2006]. Ta dyscyplina sportu nie posiada specjalistycznej oceny przebiegu działalności startowej, przez co nie są precyzyjnie określone sposoby prowadzenia treningu w klubach sportowych [Ambroży i wsp. 2015].

Boks charakteryzuje się intensywnym wysiłkiem fizycznym, który angażuje zarówno systemy energetyczne tlenowe, jak i beztlenowe. W czasie walki, krótkie i intensywne serie uderzeń wymagają szybkiej produkcji energii przez układ beztlenowy (anaerobowy), a przerwy między rundami oraz dłuższe okresy niższej intensywności wysiłku pozwalają na wykorzystanie systemu tlenowego (aerobowego) do regeneracji i dostarczania energii.

Ze względu na specyfikę tego sportu, zawodnicy muszą być dobrze przygotowani pod względem wydolności tlenowej i beztlenowej, co umożliwi im utrzymanie wysokiej intensywności walki przez kilka rund. Testy oceniające wydolność tlenową i beztlenową, takie jak testy wysiłkowe na bieżni ruchomej, test Wingate'a, czy testy na ergometrze, są powszechnie stosowane w celu oceny zdolności zawodników do wytrzymywania długotrwałego wysiłku o wysokiej intensywności. Test Wingate'a ocenia wydolność beztlenową poprzez analizę maksymalnej mocy, jaką zawodnik jest w stanie wygenerować w czasie 30 sekund intensywnego wysiłku na ergometrze. Test VO_2 max uznawany jest za złoty standard oceny wydolności tlenowej, który mierzy maksymalny pobór tlenu podczas stopniowo narastającego wysiłku fizycznego na bieżni lub ergometrze. Natomiast testy na ergometrze są stosowane do oceny zarówno wydolności tlenowej, jak i beztlenowej poprzez symulację wysiłku o różnej intensywności i czasie trwania.

Kluczowym elementem przygotowania do zawodów bokserskich jest utrzymanie odpowiedniej masy ciała. Zawodnicy są klasyfikowani według kategorii wagowych, dlatego kontrola masy ciała staje się nieodzownym elementem przygotowań. Redukcja masy ciała odbywa się poprzez precyzyjnie zaplanowane diety oraz specyficzne protokoły treningowe, które pozwalają na osiągnięcie wymaganej wagi przy jednoczesnym zachowaniu siły i wytrzymałości.

W treningach sportowców, w tym również bokserów, coraz częściej stosowana jest hipoksja, czyli stan niedotlenienia. Jej celem jest zwiększenie wydolności tlenowej i beztlenowej. Treningi w warunkach hipoksji, na przykład na dużych wysokościach lub z użyciem specjalnych urządzeń symulujących takie warunki, mogą prowadzić do adaptacji organizmu, polegającej na zwiększeniu liczby czerwonych krwinek i hemoglobiny, co z kolei poprawia zdolność transportu tlenu do mięśni podczas wysiłku.

Pod wpływem hipoksji, organizm zwiększa produkcję erytropoetyny (EPO), co stymuluje produkcję czerwonych krwinek. Zwiększenie liczby erytrocytów oraz poziomu hemoglobiny przyczynia się do lepszego transportu tlenu, co jest szczególnie istotne w dyscyplinach wymagających wytrzymałości, takich jak boks. Jednakże, intensywne treningi w warunkach hipoksji mogą również prowadzić do wzrostu stresu oksydacyjnego, co z kolei może mieć negatywny wpływ na regenerację organizmu i zwiększać ryzyko kontuzji.

Głównym celem pracy jest ocena efektów eksperymentalnego programu treningowego, z wykorzystaniem komory hipoksyjnej w okresie przygotowawczym na wybrane zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym.

Trening w sportach walki, w tym boksie, jest zróżnicowany i zależy od wielu czynników, takich jak cel treningowy, poziom zaawansowania zawodnika oraz specyfika dyscypliny. Tradycyjnie, trening w boksie koncentruje się na poprawie siły, wytrzymałości, szybkości i techniki. Jednakże, nowoczesne podejścia coraz częściej włączają elementy treningu funkcjonalnego, hipoksji, a także zaawansowane metody monitorowania fizjologicznego, aby zoptymalizować osiągi zawodników.

Trening sportowy można określić jako świadomy proces rozwoju wydolności fizycznej, a także umiejętności ruchowych i taktycznych, których celem jest osiągnięcie sukcesu sportowego. Proces ten polega na ciągłym, systematycznym eksperymentowaniu mającym na celu taki rozwój organizmu zawodnika, który zapewni mu sukces. Trening prowadzony systematycznie powoduje zmiany strukturalne w organizmie zawodnika, ich charakter uzależniony jest od rodzaju bodźca, jego intensywności, czasu trwania, a także od stosowanych form wypoczynkowych [Jastrzębska 2014].

Planując trening wyczynowy konieczne jest uwzględnienie ogólnych i szczegółowych wytycznych wynikających z podziałów na makro-, mezo- i mikrocykle, okresy przygotowawcze, startowe i przejściowe oraz etapy przygotowania: wszechstronnego, ukierunkowanego oraz specjalistycznego [Ziemiński 2008].

Klasyczna struktura jednostki treningowej składa się z: wprowadzenia; rozgrzewki, która ma przygotować zawodnika do wzmożonego wysiłku; części zasadniczej (głównej) oraz części końcowej, w której następuje obniżenie wysiłku i doprowadzenie czynności fizjologicznych organizmu do stanu z początku treningu. Jednostka treningowa trwa od 45 min do 2 h, a liczba jednostek treningowych w tygodniu zależy od okresu przygotowania sportowego [Ziemiński 2008].

Głównym celem procesu planowania treningu sportowego jest wyznaczenie ściśle określonego celu szkolenia sportowego na podstawie prognozy, z uwzględnieniem możliwości zawodników poddawanych treningowi i warunków jego realizacji. Pozwala on na określenie zadań i zasad budowy cykli i okresów treningowych w celu osiągnięcia optymalnego poziomu rozwoju cech istotnych z punktu widzenia osiągniętych wyników [Sozański 1999; Naglak 1999]. Trening w boksie realizowany jest zgodnie z założeniami struktury rzeczowej i czasowej [Sozański 1999] i uzupełniany umiejętnościami w zakresie techniki ciosów, bloków i obron co prowadzi do adaptacji organizmu do optymalnego rozwoju cech fizycznych zawodnika (jego siły, wytrzymałości i koordynacji), gibkości i dyspozycji psychicznych zapewniających osiągnięcie mistrzostwa. Wymiernym efektem tych działań jest postęp wyników sportowych.

Bokser musi posiadać umiejętności wykonywania wszystkich czynności niezbędnych do prowadzenia walki bokserskiej według ustalonych zasad. Boks to technika, która wymaga wyćwiczenia określonych ruchów i czynności [Nowak, Mizerski i Durjasz 1983]. Technika bokserska jest sposobem wykonania zadania ruchowego, który pozwala uzyskać racjonalne i efektywnie najlepsze rezultaty skutecznie, a także zgodnie z przepisami. W technice tej wyróżnia się: pozycję bokserską, pracę nóg, ciosy, obrony, zwody, dystansowanie i akcje złożone [Čepulėnas i wsp. 2011; Ambroży i wsp. 2016]. Technika bokserska bywa też definiowana jako skuteczne czynności ruchowe, które stosowane są w ataku i obronie przy uwzględnieniu warunków walki i umiejętności pięściarza [Lenetsky 2019].

Szczegółowe zestawienie techniki w boksie przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Elementy techniki w boksie [Durjasz 2012; Ambroży i wsp. 2015]

Elementy główne	Elementy podstawowe	
Pozycja bokserska	Praworęczna	Podczas przebywania: poza dystansem, w dystansie, półdystansie i zwarciu
	Leworęczna	
Przemieszczanie się i dystansowanie	Sposoby przemieszczania się	Kroki bokserskie: w przód, tył, w lewą i prawą stronę, w kierunkach skośnych oraz ww. po łuku: doskok, odskok, krok dostawny po łuku w prawą lub lewą stronę przodem do przeciwnika albo bieg przodem, tyłem lub bokiem do przeciwnika
	Dystansowanie	Przebywanie: poza dystansem, w dystansie, półdystansie lub zwarciu
Ciosy	Proste	W głowę zadawane prawą lub lewą ręką
	Z dołu	W tułów zadawane prawą lub lewą ręką
	Sierpowe	
Obrony	Nogami	Odejście, odskok, zakrok, wykrok, uskok, zejście z linii walki w prawą lub lewą stronę
	Rękami	Zbicie (prawą lub lewą ręką) ciosu zadanego w głowę lub tułów, blok (oburącz prawą lub lewą ręką) ciosu zadanego w głowę lub tułów, ciosy kontrujące
	Tułowiem	Odchylenie, unik: prosty w dół, w lewą stronę, w prawą stronę, unik rotacyjny w lewą lub prawą stronę
Zwody	Nogami	Odstawienie nogi w przód, w bok, w tył, odskok, doskok, itp.
	Rękami	Zapoczątkowanie zadania ciosu prostego, z dołu lub sierpowego w głowę lub tułów ręką prawą lub lewą, itp.
	Tułowiem	Pochylenie, odchylenie tułowia, unik w lewą lub prawą stronę, unik rotacyjny w lewą lub prawą stronę, itp.
	Łączone	Wykonywane: noga i ręka, noga i tułów, ręka i tułów, zmian apozycji bokserskiej itp.

Pozycja bokserska to ustawienie zawodnika w sposób, który stwarza najlepsze warunki do prowadzenia walki. Powinna ona zapewnić stałą gotowość do przeprowadzenia różnych akcji i pozwolić na przeprowadzenie ataku lub obrony [Nowak 2008].

Działania techniczno-taktyczne oparte są w boksie na pewnych zasadach zadawania ciosów i obron przed atakami przeciwnika. Wśród tych działań można wyróżnić: sposoby ataku (ciosy proste, sierpowe, tzw. haki, czyli ciosy od dołu) realizowane w formie pojedynczych akcji, kombinacji, zwodów i kontrataków oraz działania obronne, które realizowane są jako uniki, bloki, zasłony i zejścia z linii [Ambroży i wsp. 2015]. Odpowiednie wykonanie wszelkich elementów technicznych uzależnione jest od pracy nóg zawodnika. Przy dobrej pracy nóg bokser porusza się w czasie walki swobodnie z zachowaniem stabilności (równowagi), może więc włączyć siłę nóg do wykonywania poszczególnych ruchów tułowiem i rękami, ma też możliwość wykonania wszystkich akcji ataku i obrony z właściwą siłą i szybkością. Skuteczna praca nóg pozwala również na realizowanie zadań taktycznych, podnosi widowiskowość, elegancję i czystość walki [Gradopołow 2012].

Podstawowym elementem walki jest cios, który można zadawać tylko przednią częścią rękawicy i w określone pola trafień. Ciosy proste, sierpowe i z dołu mogą mieć charakter długich lub krótkich ciosów, służyć do ataku, obrony lub kontry [Durjasz 2008]. Istotną czynnością jest w tej dyscyplinie sportu obrona. Czynność ta ma na celu zlikwidowanie ataku przeciwnika. Może być ona wykonana rękami, nogami lub tułowiem [Ambroży i wsp. 2016].

Kolejnym elementem techniki bokserskiej są zwody, czyli akcje przeprowadzone za pomocą rąk i tułowia, które stwarzają pozór, iż zostanie wykonana obrona lub atak w celu wywołania u przeciwnika spodziewanego przeciwdziałania [Nowak 2008; Ambroży i wsp. 2016].

Na skuteczność działań bokserów wpływa dynamika ruchów i zmieniających się szybko sytuacji, wielkie napięcie psychiczne oraz różnorodność ciosów i działań obronnych. Dlatego też bardzo ważna jest szybkość i koordynacja ruchów, ich dokładność, siła ciosów i zdolności psychomotoryczne [Čepulėnas i wsp. 2011]. Kluczowe znaczenie dla bokserów ma w trening dynamiczny z oporem, w którym można regulować ich ciężar, powinny one być tak dobrane, aby angażować kilka grup mięśni jednocześnie. W treningach tych konieczne jest zastosowanie wszechstronnej rozgrzewki, ćwiczeń gibkościowych oraz ćwiczeń z małym obciążeniem wykonywanych szybko i wytrzymałość siłowa (moc acykliczna). Do rozwoju mocy acyklicznej stosuje się szereg metod: Molleta (ćwiczenia z hantlami, piłkami lekarskimi, lekką sztangą), minimalnych obciążeń (skłony

w siadzie, skakanka, jumping), obwodową (wybiera się zestaw 8-12 stacji). Z kolei do rozwoju siły wytrzymałościowej stosuje się metodę obwodową (6-12 stacji), maksymalnych powtórzeń (średnie obciążenie i średnia prędkość ruchów wraz z dużą ilością powtórzeń) oraz metodę interwałową (nie dopuszcza się do pełnej regeneracji sił, stosując niepełne przerwy wypoczynkowe) [Ziemiński 2006].

Roczny trening można podzielić na następujące cykle treningowe: makrocykle (długie), mezocykle (średnie) oraz mikrocykle (krótkie). Konieczne jest takie zorganizowanie treningu, by zawodnik mógł osiągnąć jak najlepsze rezultaty w określonym czasie. W boksie organizacja szkolenia odbywa się w dwóch półrocznych makrocyklach treningowych. Makrocykl treningowy (tzw. pełny cykl treningowy) budowany jest z myślą o przygotowaniu sportowca do startu w najważniejszych dla niego zawodach sportowych [Ambroży 2007]. Należy więc uwzględnić objętość makrocyklu, charakter zawodów i przepisów sportowych. Dopiero na tej bazie ustala się zadania związane z możliwością powiększenia możliwości funkcjonalnych, zasobu środków technicznych, udoskonalenie nawyków i innych walorów sportowych. By określić wielkość makrocyklu należy poznać priorytetowe cele i dopiero na tej podstawie dokonać podziału tego okresu na poszczególne etapy. Na każdy z tych etapów przypadają odpowiednie zadania do realizacji. W pierwszym etapie przerabia się nowe i doskonali wcześniej przyswojone środki i metody treningu, w drugim sprawdza się w praktyce nowe środki, formy i metody treningowe, w trzecim przygotowuje się sportowców zgodnie z ustalonymi metodami, formami i środkami, a w czwartym wybiera się i przygotowuje najlepszych do zawodów [Ulatowski 1992]. Każdy kolejny cykl jest częściowym powtórzeniem poprzedniego z dodatkiem nowych elementów i środków treningowych oraz zwiększonych obciążeń [Depa 2008].

Każdy makrocykl dzieli się na okres przygotowawczy, startowy i przejściowy. Okres przygotowawczy składa się z podokresów przygotowania ogólnego, przygotowania ukierunkowanego i specjalistycznego [Depa 2008]. W każdym z tych okresów konieczne jest prowadzenie treningu zapewniającego wszechstronne przygotowanie motoryczne, w tym oddziałującego na sprawność szybkościowo – koordynacyjną i wydolność, która warunkuje sukces w boksie. Treść makrocyklu treningowego w boksie przedstawia tabela 2.

W okresie przygotowawczym głównym zadaniem treningowym jest budowanie formy sportowej [Ozimek i Ambroży 2016]. Powinno się go realizować w dwóch podokresach: przygotowania wszechstronnego (ogólnego i ukierunkowanego) i specjalnego. Na początku tego okresu głównym celem jest zwiększenie możliwości funkcjonalnych zawodnika i kształtowanie jego motoryki. Zwraca się też uwagę na poziom techniki i przygotowanie psychiczne [Naglak 1999]. W podokresie ukierunkowanym konieczne jest wprowadzenie treningów zadaniowych opartych na realizacji układów startowych. W okresie przygotowania specjalistycznego ilość powtórzeń oraz czas trwania ćwiczeń powinny co najmniej dwukrotnie przekroczyć obciążenia startowe. Przy kształtowaniu technik specjalnych szczególną uwagę należy skierować na dokładność ich wykonania. Za podstawę treningu uznaje się tuzozwój możliwości tlenowej i beztlenowej resyntezy ATP (adenozynotrójfosforan), modyfikację i opanowanie nowych elementów techniki bokserkiej, rozwój szybkościowych parametrów ruchu, rosnącą sprawność układu krążenia i oddychania oraz ekonomizację pracy [Ambroży i Kędra 2007].

Tabela 2. Treść makrocyklu treningowego w boksie

Okres	Przygotowawczy	Startowy	Przejęciowy	
Podokresy	wszechstronny	specjalny		
Podstawowe zadania	- podniesienie poziomu wytrzymałości i szybkości	- kształtowanie wytrzymałości i techniki specjalnej	- doskonalenie układów startowych	- aktywny wypoczynek
	- zwiększenie możliwości funkcjonalnych organizmu			
Środki treningowe	- wszechstronne ćwiczenia sprawności (50-80%)	- środki specjalne (do 80%)	- środki specjalne (90%)	- wszechstronne ćwiczenia sprawności (80%)
	- środki specjalne (20-50%)			
Ocena stanu wytrenowania	- ocena ogólnego poziomu sprawności	- testy specjalistyczne	- testy specjalistyczne	- badania lekarskie
		- starty kontrolne	- starty w zawodach	

W okresie startowym najważniejsze jest osiągnięcie i utrzymanie formy sportowej, podtrzymanie ogólnego poziomu przygotowania fizycznego oraz doskonalenie techniki i taktyki przez zastosowanie algorytmu skutecznej walki. W ostatniej części makrocyklu następuje okres roztrenowania, który jest częścią okresu przejściowego. Jego głównym celem jest doprowadzenie do całkowitej odnowy organizmu zawodnika [Grzeška 2003].

Natomiast mezocykl składa się z 2-6 mikrocykli. Ma on zapewnić prawidłowe tempo rozwoju wytrenowania poprzez sumowanie efektów treningowych. Może to być mezocykl: wprowadzający, podstawowy, kontrolno-przygotowawczy, przedstartowy, startowy lub odbudowująco-przygotowawczy. Z kolei mikrocykl składa się z kilku jednostek treningowych, które mogą trwać od 4 do 14 dni. Obejmuje on fazę stymulującą i odbudowującą [Ambroży 2007].

Ukształtowanie zawodnika sportów walki na mistrzowskim poziomie jest procesem wieloletnim i złożonym, który musi być odpowiednio zaplanowany i przemyślany. Należy w nim połączyć przygotowanie sprawnościowe z umiejętnościami technicznymi [Ambroży i wsp. 2017]. Cały proces szkoleniowy (każdy etap przygotowania zawodnika) powinien być systematycznie kontrolowany (kontrola lekarska, psychologiczna, trenerska, samokontrola) przy pomocy obserwacji i pomiarów wraz z interpretacją uzyskanych wyników. Zmiany zachodzące w organizmie zawodnika powinny być porównywane z uzyskanymi efektami treningowymi [Ambroży i Kędra 2007].

1.2. Wpływ koordynacji ruchowej i zdolności motorycznych na efektywność walki sportowej

Każdy człowiek posiada pewne możliwości motoryczne, które realizowane są przez określone ruchy oznaczające się szeregiem cech jakościowych i ilościowych. Cechy motoryczne są cechami fizycznymi człowieka, które wykazują się jednakowymi parametrami i mogą być mierzone w ten sam sposób (mają wspólne jednostki miary), a także posiadają analogiczne fizjologiczne i biochemiczne mechanizmy wymagające wykazania podobnych właściwości psychiki [Migasiwicz 2006].

W celu określenia ważności oraz procedur wpływających na efektywność walki sportowej konieczne jest poznanie wszystkich cech antropologicznych, zdolności i innych właściwości, które wpływają na wynik w danym sporcie by zwiększyć

prawdopodobieństwo sukcesu. Dotyczy to przede wszystkim podstawowych zdolności motorycznych, ich struktury i relacji z innymi istotnymi cechami antropologicznymi. Aby z powodzeniem przygotować technicznie sportowca, konieczne jest poznanie, które atrybuty, umiejętności oraz cechy antropologiczne wpływają na sukces w danej dyscyplinie sportowej. Nowoczesne podejście w przygotowaniu i systemie treningu sportowego oparte jest na modelach sytuacyjnych (równanie specyfikacji, model złożoności) [Blaževic, Širić i Matas 2008].

Boks jest dyscypliną sportową charakteryzującą się kompleksowym występowaniem zdolności motorycznych. Motoryczność człowieka jest układem cech, które stanowią potencjalną podstawę do uzewnętrznienia się w określony sposób efektu ruchowego [Szopa, Mleczko i Żak 2000]. Teoretycy sportu wyróżniają wszechstronną i specjalną sprawność motoryczną. Sprawność motoryczna to stopień uzewnętrznienia poziomu zdolności i umiejętności ruchowych człowieka konkretnych aktach ruchowych [Ambroży 2008]. Wszechstronna sprawność obejmuje podstawowe zdolności motoryczne, czyli siłę, szybkość i wytrzymałość [Raczek i Mynarski 1992]. Dodatkowo wyróżnia się zdolności koordynacyjne, które wyznaczają efektywność działań i zachowań motorycznych jednostki [Raczek 2002]. Szybkość jest przejawem motoryczności, zdolnością człowieka do wykonywania ruchów, w jak najkrótszym czasie [Osiński 2003]. Przejawia się ona czasem reakcji, prędkością pojedynczego ruchu i częstotliwością ruchów określoną w cyklach. W sportach walki szybkość oceniana jest na podstawie zdolności do maksymalnego tempa ruchów oraz możliwości zwiększenia szybkości przemieszczania nie tylko części ciała, ale również całego ciała na podstawie przepływu pobudzenia w układzie nerwowo-mięśniowym. Ocenia się tu również zdolności szybkiego i skutecznego przeprowadzenia akcji ataku i obrony oraz poruszania się na ringu w trakcie prowadzenia walki. Jej wartość można też określić na podstawie szybkości reakcji na atak przeciwnika i przemieszczania się zawodnika w trakcie walki w ataku i obronie [Ziemiański 2008].

Szybkość jako zdolność motoryczna mieści w sobie trzy składowe, które mierzone są w sekundach:

- czas reakcji, czyli okres jaki upływa od zadziałania bodźca do momentu zapoczątkowania ruchu – zależy on od pozycji startowej, warunków startu, środków farmakologicznych;

- prędkość pojedynczego ruchu, które zależy głównie od wielkości pokonywanego oporu;
- częstotliwość ruchów określoną w cyklach, która jest wskaźnikiem mierzonym poprzez rejestrację maksymalnej ilości ruchów wykonywanych przez daną grupę mięśniową w określonym czasie [Ziemiański 2008].

Szybkość jako zdolność motoryczna jest ściśle związana z wytrzymałością i siłą. Wytrzymałość można określić jako odporność organizmu na zmęczenie wywołane wysiłkiem fizycznym o określonej intensywności, która ograniczona jest przez czas trwania lub wykonywania pracy [Ambroży 2007]. W typowym wysiłku wytrzymałościowym praca powinna trwać co najmniej 4 minuty, natomiast jej natężenie wynosić między 60 a 80% max wysiłku [Osiński 2003].

Uwzględniając czas trwania wysiłku można dokonać podziału wytrzymałości na:

- wytrzymałość długiego czasu, w której czas trwania ćwiczeń wynosi powyżej 8 min;
- wytrzymałość średniego czasu, w której czas trwania ćwiczeń waha się od 2 do 6 min;
- wytrzymałość krótkiego czasu, gdzie czas trwania wysiłku wynosi od 45 s do 2 min [Ziemiański 2008].

W sportach walki można wyróżnić wytrzymałość ogólną, która wyraża się większą wydolnością organów i układów (zwłaszcza krążenia i oddechowego). Jest ona rozwijana w okresie przejściowym i we wczesnej fazie okresu przygotowawczego przy pomocy ćwiczeń wzmacniających system mięśniowy, układ oddechowy i układ krążenia. Kolejnym rodzajem wytrzymałości jest wytrzymałość specjalna, która wyraża się w przygotowaniu systemu nerwowego do specyficznych czynności w czasie walki. Umożliwia ona zawodnikowi szybką reakcję na zmieniającą się sytuacją w trakcie walki, koncentrowanie się i jednocześnie dzielenie się swoją uwagą na istotne w danym czasie rzeczy. Ten rodzaj wytrzymałości kształtuje się w okresie startowym, a intensywność treningu często przekracza intensywność startową [Ziemiański 2008].

Na wytrzymałość wpływ wywiera odporność na zmęczenie centralnego układu nerwowego, wydolność tlenowa i beztlenowa oraz siła woli zawodnika [Ziemiański 2008].

W boksie konieczne jest ukierunkowanie na rozwój siły i utrzymanie jej poziomu w okresie startowym. W okresie przygotowawczym następuje podwyższenie siły ogólnej, stopniowe zwiększanie obciążeń, oddziaływanie na wszystkie grupy mięśniowe i przechodzenie z ćwiczeń ukierunkowanych na ćwiczenia dostosowane do potrzeb boksu. Wysoki poziom wskaźników utrzymywany jest dzięki ćwiczeniom mocy acyklicznej (małe obciążenie i duża szybkość ruchów). W okresie przejściowym zmienia się charakter ćwiczeń i stosowane są bodźce o małej częstotliwości [Wieczorek 1994]. W okresie startowym następuje ograniczenie treningu ukierunkowanego i obniżenie objętości treningu przy jednoczesnym wzroście jego intensywności [Ulatowski 1981; Karpiński 2020b].

Dozowanie i metody treningu siłowego przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Dozowanie i metody treningu siłowego [Ulatowski 1981; Ziemiński 2006]

% max siły	ilość powtórzeń w serii	rytm wykonania	przerwa odpoczynkowa	ilość serii	zastosowanie
100-85	1-5	umiarkowany	2-5 min	początkujący 3-5 zaawansowany	poprawa siły max w sportach acyklicznych
85-70	5-10	umiarkowany do powolnego	2-4 min	3-5	poprawa siły max; podstawowa metoda dla sportu cyklicznego
50-30	6-10 (przy maksymalnej prędkości)	intensywny	2-5 min	4-6	poprawa mocy pod warunkiem podniesienia siły
29	6-10	bardzo szybki	2-5 min	4-6	poprawa mocy oraz siły max
60-40	20-30; 50-70%, max ilość powtórzeń	szybki do umiarkowanego	30-45 s	3-5	poprawa wytrzymałości siłowej
40-25	25-50% max liczby powtórzeń	umiarkowany do szybkiego	optymalnie	4-6	j. w., ale dla sportowców niewymagających tego jako podstawy motorycznej

Wśród podstawowych wzorców ruchowych w tej dyscyplinie można zaliczyć mobilność, stabilność i koordynację nerwowo-mięśniową. Zdolności te są podstawą piramidy optymalnego przygotowania motorycznego. Szczególnie ważną dla bokserów zdolnością jest mobilność, która jest zdolnością układu nerwowo-mięśniowego do wykonania efektywnego ruchu w prawidłowym i bezbolesnym zakresie ruchomości [Kochański i wsp. 2015]. Wszelkie nieprawidłowości funkcjonalne, które są związane z ograniczeniem mobilności mogą przyczynić się do powstawania zaburzeń funkcjonalnych na poziomie łańcucha kinematycznego. Jednocześnie utrata mobilności może przełożyć się na powstawanie kompensacji czynnościowych w innych segmentach narządu ruchu predysponując zawodnika do dysfunkcji i zwiększyć możliwość kontuzji [Grygorowicz i wsp. 2010].

Każdy cios składa się z połączenia określonych elementów ruchu: odbicia się od podłogi nogą, przeniesienia ciężaru ciała na drugą nogę (w kierunku przeciwnika), skrętu tułowia, wysuwającego w przód barku ręki zadającej cios oraz ruchu samej ręki. Szybkość ciosu uzależniona jest również od początkowego momentu ciosu, zadawanego z dogodnej pozycji wyjściowej, od stanu układu nerwowo-mięśniowego boksera i szybkości jego reakcji [Nowak 2008; Karpiński 2020b]. Przy każdym ciosie, bez względu na jego siłę, bokser powinien w końcowej fazie ciosu utrzymać ciało w równowadze, co pozwala mu na nieprzymuszone przechodzenie z jednej akcji do drugiej.

Najczęściej koordynację ruchową określa się zdolność do wykonywania złożonych przestrzennie i czasowo ruchów, przestawiania się z jednych zadań ruchowych na inne oraz rozwiązywania nowych, nieoczekiwanych pojawiających się sytuacji ruchowych [Sozański 1993; Ważny 1994]. Można także stwierdzić, że zdolności koordynacyjne określają możliwości organizmu w zakresie wykonywania dokładnych i precyzyjnych ruchów w zmieniających się warunkach zewnętrznych [Szopa 2000].

W działalności sportowej koordynacja ruchowa wyznacza w dużym stopniu szybkość i jakość uczenia się motorycznego, doskonalenie i stabilizację sportowych umiejętności techniczno - taktycznych oraz ich adekwatne wykorzystanie przy zmieniających się sytuacjach i warunkach [Raczek 2002]. Badania Rzepko i wsp. [2014] wskazują, że upośledzenie narządu wzroku lub nagła zmiana pola widzenia w dużym stopniu opóźniają prawidłowy rozwój posturalnej reakcji człowieka. Uważa się, iż planowy i odpowiednio modelowany rozwój zdolności

koordynacyjnych może wpłynąć na wzrost efektywności w walce sportowej [Ljach 1995].

W obrębie koordynacyjnych zdolności motorycznych wyróżnia się następujące specyficzne zdolności: różnicowanie kinestetyczne, orientację czasowo-przestrzenną, równowagę, szybkość reagowania, dostosowanie i przestawienie motoryczne, sprzężenie ruchów, rytmizację ruchów oraz częstotliwość ruchów [Raczek 2002].

Farfel [1960] jako pierwszy wyodrębnił trzy poziomy koordynacyjne. Pierwszy poziom określają zdolności do dokładnego przestrzennie wykonywania czynności ruchowych w standardowych warunkach, bez ograniczenia czasowego. Drugi odnosi się do zdolności do wykonywania czynności ruchowych z dokładnością przestrzenną i w ograniczonym czasie, ale w standardowych warunkach, a trzeci określają zdolności do wykonywania czynności ruchowych z dużą dokładnością, w ograniczonym czasie i w zmiennych warunkach. Niektórzy autorzy [Raczek i Mynarski 2002] wyodrębniają dodatkowy poziom, odnoszący się do zdolności do wykonywania czynności ruchowych z dużą dokładnością i w zmiennych warunkach, bez ograniczeń czasowych. Według tych poziomów dokonano [Starosta 1996] podziału dyscyplin sportowych pod względem ich złożoności. Boks zaliczany jest do trzeciego poziomu stopni trudności.

Do zdolności motorycznych należy też gibkość, która może być określana jako zakres ruchu w pojedynczym stawie albo w kilku stawach [Osiński 2003]. Gibkość może mieć formę statyczną, charakteryzującą się pełną ruchomością stawów w sytuacjach pasywnych oraz gibkość dynamiczną, która odnosi się do stopnia zmiany pozycji w stawie w rezultacie działania sił zewnętrznych. Gibkość dynamiczna wskazuje na zdolność do szybkiego i obszernego ruchu przy małych oporach [Osiński 2003, Ziemiański 2008].

Chcąc osiągnąć wysoki poziom sportowy w boksie konieczne jest dokładne opanowanie elementów technicznych (pozycji bokerskiej, pracy nóg, ciosów, obron, zwodów, dystansowania, akcji złożonych), nabycie umiejętności łączenia ich w trakcie pojedynku, ukształtowanie na wysokim poziomie cech motorycznych i znajomość taktyki walki [Nowak 2008].

1.3. Współzależność między obciążeniem treningowym a stanem organizmu zawodnika

Proces treningowy powoduje obciążanie organizmu wysiłkiem fizycznym. Istotne jest tu stopniowe zwiększanie obciążeń, ich intensywności, czasu trwania i pewna cykliczność. Ważnym elementem tego procesu jest zachowanie odpowiednich stosunków pomiędzy stosowanym obciążeniem, a czasem i charakterem wypoczynku po, lub w trakcie ćwiczeń (serie, powtórzenia, szybkość, ciężar, przerwy pomiędzy ćwiczeniami, charakter wypoczynku) [Ozimek, Szmatlan-Gabryś 2001]. Obciążenia treningowe obrazują wysiłek wykonywany przez zawodnika w aspekcie energetycznym i psychicznym. Są to obciążenia zewnętrzne, które utożsamiane są z wysiłkiem fizycznym oraz obciążenia wewnętrzne, czyli indywidualne reakcje organizmu na wysiłek. Możliwość ich oceny jest podstawowym narzędziem kontroli trenerskiej w kierowaniu procesem szkoleniowym [Ambroży i Badeński 2003].

Zasadniczym instrumentem warunkującym efektywność treningu jest rodzaj, wielkość i struktura obciążeń treningowych. Posiadając wiedzę o zespole cech i właściwości organizmu oraz o ich poziomie charakteryzującym stan potencjalnej doskonałości w boksie, można wyznaczyć cel, do którego będzie się dążyć przez narastające zmiany adaptacyjne zachodzące pod wpływem realizowanych obciążeń. Oczywiście dobór obciążeń treningowych uzależniony jest od aktualnego stanu wytrenowania zawodnika, wymogów modelu mistrzostwa sportowego boksu (według Ważnego model mistrza to abstrakcyjny układ, którego zadaniem jest imitowanie najistotniejszych cech oryginału dzisiejszego lub przyszłego mistrza danej dyscypliny sportowej) [Ważny 1981] oraz od jego indywidualnych uwarunkowań rozwoju biologicznego. Współcześnie bokserzy na poziomie mistrzowskim powinni wykazywać się wysokim poziom wytrenowania, specjalną sprawnością fizyczną, dobrą techniką, elastyczną i wszechstronną taktyką [Smith i wsp. 2001; Čepulėnas i wsp. 2011].

Stosowane rozwiązania treningowe mogą się różnić zarówno wielkością, jak i strukturą obciążeń, ukierunkowując się albo na rozwój stymulowanych cech o charakterze progresywnym, lub na rozwój o charakterze intensywnym. Konieczne jest również zwrócenie uwagi na odpowiednią kolejność wykonywanych ćwiczeń, gdyż niewłaściwa kolejność ich wykonania może wywołać zupełnie przeciwną

reakcję organizmu. Przy badaniach przedłużonego efektu treningowego najważniejsze są obserwacje wskaźników, które wyrażają dynamikę uzupełniania rezerw energetycznych w organizmie i przebieg syntezy białek [Ważny 1983].

W ostatnich latach najpopularniejszą metodą pomiaru obciążeń jest metoda opracowana w Zakładzie Teorii sportu AWF w Warszawie, w której ujęto obciążenia w dwóch kategoriach identyfikacji wysiłków: ze względu na rodzaj przygotowania (wszechstronne, ukierunkowane i specjalne) oraz ze względu na oddziaływanie obciążenia na mechanizmy energetyczne ustroju z modyfikacją polegającą na wyznaczaniu zakresów intensywności ćwiczeń [Ambroży 2007].

W literaturze przedmiotu [Ważny 1981] podkreśla się, że najważniejszym i jednocześnie najtrudniejszym do uchwycenia elementem jest ocena stanu w jakim znajduje się zawodnik. Wyróżniono trzy typy tego stanu uwzględniając czas, jaki jest potrzebny do przejścia z jednego stanu w drugi:

- 1) stany trwałe, które utrzymują się przez dłuższy okres czasu np. stan przetrenowania;
- 2) stany bieżące, które zmieniają się pod wpływem jednego lub kilku treningów, wyznaczają one wielkość obciążeń najbliższych zajęć treningowych;
- 3) stany operacyjne, które mają charakter przejściowy, ulegają one zmianie pod wpływem jednego ćwiczenia albo serii ćwiczeń, wyznaczają one wielkość i charakter przerw między poszczególnymi ćwiczeniami.

W każdym z tych stanów korzysta się z odmiennych środków służących do ich oceny.

Przy sterowaniu procesem treningowym powinno się dokonywać kontroli biochemicznej, która pozwala na wyróżnienie trzech stanów-efektów stosowania obciążeń treningowych:

- 1) bezpośredniego efektu treningowego, który obejmuje zmiany jakie zachodzą w czasie wysiłku oraz w początkowym okresie odpoczynku;
- 2) przedłużonego efektu treningowego, który obserwowany jest w dalszych fazach odnowy, obejmuje on procesy plastyczne i zwiększoną przez dłuższy czas aktywność hormonalną;
- 3) kumulatywnego efektu treningowego, powstającego w wyniku sumowania się bezpośrednich i przedłużonych efektów dużej liczby pojedynczych zajęć treningowych [Ważny 1981].

Ocena bezpośredniego efektu treningowego odgrywa ważną rolę przy racjonalizacji określonych zajęć treningowych.

Przez monitorowanie treningu z wykorzystaniem wskaźników biochemicznych możliwe jest dokonanie oceny procesu adaptacji na poziomie komórkowym, tkankowym i narządowym. Markery te pozwalają na określenie aktualnego poziomu wydolności organizmu i jego gotowości do podjęcia wysiłku fizycznego. Jednocześnie umożliwiają dokonanie obiektywnej oceny aktualnego stanu sportowca. Zmiany stężeń wybranych wskaźników biochemicznych we krwi mogą wskazywać zaburzenia homeostazy, jakie zachodzą pod wpływem wysiłku fizycznego, pozwalają one na ocenę obciążenia [Dill i Costill 1974]. Liczne badania potwierdzają, że zmniejszenie objętości krwi w trakcie i bezpośrednio po wysiłku może wynosić od 2 do 20% [Bakońska-Pacoń 2006, Górski 2015], natomiast po upływie 24-48 h objętość krwi może się zwiększyć od 10 do 19%. Największy wpływ na zwiększenie objętości krwi ma wzrost osocza (70%) oraz przyrost masy erytrocytarnej (30%) w następstwie tworzenia się czerwonych krwinek [Berger i wsp. 2006]. W surowicy i osoczu wykonuje się oznaczenia większości składników chemicznych krwi: osocza (białka całkowitego), frakcji białkowych, hormonów, enzymów, glukozy, kwasów tłuszczowych i metabolitów (amoniaku, mocznika, kreatyniny) [Bakońska-Pacoń 2014a, Górski 2015].

W czasie wysiłku fizycznego wzrasta ciśnienie krwi, ale jednocześnie zmniejsza się jej przepływ przez nerki, maleje też stężenie ATP, ale zwiększa się stężenie jonów wodorowych H^+ i ciśnienie parcjalne CO_2 oraz przyspiesza tworzenie mleczanu [Poortmans 1984]. Zjawiska te są niezbędne do przyspieszenia przemian tlenowych (tabela 4).

Tabela 4. Niektóre czynniki przyspieszające przemiany tlenowe

Bodziec	Reakcja fizjologiczna
Wzrost stężenia jonów H^+ (spadek pH)	Rozkurcz kapilar
Wzrost stężenia jonów H^+ (spadek pH), wzrost pCO_2	Odłączenie tlenu przez oksyhemoglobinę (efekt Bohra)
Wzrost pCO_2	Aktywacja ośrodka oddechowego

Źródło: [Borkowski 2014]

Mówiąc o intensywności wysiłku mówimy o poziomie 40% $\text{VO}_{2\text{max}}$. Wysiłki na tym poziomie powodują redukcję RBF (przepływu nerkowego) z wartości spoczynkowej 1330 do 1100 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$. Serce wykonuje wówczas od 110-130 uderzeń na minutę. Natomiast przy większych obciążeniach (powyżej 80% VO_2) wartość ta sięga do 990 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$, a skurcze serca są częste i zbliżone do maksymalnej wartości [Poortmans 1984; Wojtasik i wsp. 2015; Zambraski 2006]. W procesie monitorowania treningu wykorzystuje się też stężenie białka w moczu powysiłkowym, którego prawidłowa wartość powinna nie przekraczać 100 $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$ (150 mg na dobę). Większa wartość tego wskaźnika wskazuje na wystąpienie białkomoczu (proteinurii) [Bergstein 1999; Bakońska-Pacoń 2014a]. W następstwie intensywnych wysiłków może w moczu pojawić się mioglobina, czyli białko, które fizjologicznie występuje w komórkach mięśniowych. Jego wystąpienie może być skutkiem wzrostu przepuszczalności błony otaczającej komórkę mięśniową, zwykle jednak oznacza uszkodzenie całych włókien mięśniowych, co powoduje osłabienie mięśni i bóle [Clarkson i wsp. 2006].

Wysiłek fizyczny zwiększa zdecydowanie zapotrzebowanie organizmu na energię, przyspiesza metabolizm tlenowy i jednocześnie przesuwają równowagę red-ox organizmu w kierunku nadmiernego wytwarzania wolnych rodników tlenowych (ROS) i powoduje zużywanie się substancji redukujących, które są przeciwwagą dla ROS [Fehrenbach i Northoff 2001]. Pojawiające się zaburzenia równowagi między powstawaniem a utylizacją ROS prowadzą do stresu oksydacyjnego w komórkach i tkankach. Powoduje to uszkodzenie podstawowych składników, struktur komórkowych (głównie białek i lipidów) co spowodowane jest peroksydacją [Murawska-Ciałowicz 2014].

W ocenie skutków wysiłków fizycznych bardzo ważne miejsce zajmują wskaźniki równowagi kwasowo-zasadowej, które określają zachowanie równowagi między stężeniami kationów i anionów w płynach ustrojowych, jednocześnie warunkują one odpowiednie stężenie jonów wodorowych (w tym również wartości pH) [Bakońska-Pacoń 2014b].

Równowaga kwasowo-zasadowa związana jest z równowagą wodno-elektrolityczną, które łączą zasady buforujące¹. Najważniejszym buforem krwi jest bufor wodorowęglanowy ($\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$) występujący w stosunku ilościowym 1:20.

¹ Bufory to mieszaniny wodnych roztworów kwasów i ich soli z zasadą. Mają one zapobiegać zmianie pH środowiska, w którym znajduje się mieszanina buforująca.

Stanowi on ponad 60% całkowitej pojemności buforującej krwi. W uproszczeniu wartość pH jest ilorazem stężenia wodorowęglanów (składnika metabolicznego) i ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla we krwi $p\text{CO}_2$ (składnik oddechowy). Zmiany każdego z tych czynników prowadzą do zmian wartości pH we krwi i powodują kwasicę (wartość pH spada poniżej 7,36), lub zasadowicę (wartość pH powyżej 7,42) [Bakońska-Pacoń 2014b].

Wysiłek fizyczny znacząco wpływa na zmiany stężenia potasu (K) w osoczu oraz na jego stężenie wewnątrz komórek. Przy wysiłku fizycznym zwiększa się stężenie potasu (hiperkaliemia), która może powodować zaburzenia pracy serca, mięśni szkieletowych i układu nerwowego. Norma stężenia potasu wynosi $3,5\text{-}5,1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [Demińska-Kieć i Naskalski 2002; Kokot i Franek 2015]. W utrzymaniu równowagi kwasowo-zasadowej i regulacji gospodarki elektrolitowej dużą rolę pełni sód (Na), którego norma wynosi $135\text{-}145 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. W czasie wysiłku może nastąpić zwiększone stężenie sodu we krwi, co może wynikać z odwodnienia hipertonicznego w czasie zmniejszonej podaży wody, lub być spowodowana nadmierną utratą wody w czasie pocenia się przez płuca w stanach hiperwentylacji [Kokot 2005]. Z funkcją sodu w organizmie ściśle związana jest rola chloru (Cl), którego norma wynosi $98\text{-}106 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Zwiększone stężenie chloru we krwi występuje wskutek podaży chlorków, w stanach nadmiernej utraty wody przez skórę, płuca, nerki, przewód pokarmowy, w czasie biegunek i w niektórych stanach chorobowych [Demińska-Kieć i Naskalski 2002; Bakońska-Pacoń 2014b]. W surowicy znajduje się też żelazo (Fe), którego norma dla mężczyzn wynosi $10,6\text{-}28,3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Niedobór tego pierwiastka upośledza procesy transportu i magazynowania tlenu w organizmie, wywiera też wpływ na zmniejszenie wydolności fizycznej, zaburza procesy odpornościowe i termogenezy [Angielski i wsp. 1996]. Wysiłek fizyczny wpływa też na pulę wapnia (Ca) w tkance szkieletowej i na wielkość wapnia zjonizowanego. Przy wysiłkach o dużym stopniu intensywności obserwuje się zwiększone stężenie wapnia całkowitego w osoczu, a przy wysiłkach submaksymalnych – zmniejszone stężenie we krwi [Kokot 2005]. Norma wapnia dla człowieka wynosi: w przypadku wapnia całkowitego $2,15\text{-}2,55 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, a w przypadku wapnia wolnego zjonizowanego $1,17\text{-}1,29 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [Angielski i wsp. 1996]. Na dystrybucję wapnia i potasu wpływa bezpośrednio stężenie magnezu (Mg). Norma magnezu dla człowieka wynosi $0,7\text{-}1,05 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Uważa się, że właściwe stężenie magnezu w organizmie powoduje lepszą tolerancję wysiłku fizycznego [Nielsen i Lukarski

2006]. Długotrwały wysiłek fizyczny powoduje zmniejszenie stężenia magnezu i może doprowadzić do upośledzenia pobudliwości mięśni i przemian glikolitycznych [Bakońska-Pacoń 2014b].

W monitorowaniu zmian wywołanych wysiłkiem fizycznym i przy ocenie adaptacji wysiłkowej przydatne mogą być również inne wskaźniki np. czynniki tkankowe, hormony, czy też inne enzymy [Bakońska-Pacoń 2014a].

Na zewnętrzną kontrolę efektów zastosowanego treningu fizycznego pozwala antropometria, która objaśnia związek budowy anatomicznej z fizjologią organizmu. Na tej podstawie dokonuje się pomiarów somatycznych (pomiarów ciała), należnej masy ciała oraz typu budowy i składu ciała. Pomiar somatyczny pozwala na zbadanie proporcji ciała, co jest niezbędne do charakterystyki budowy zawodników i pozwala na dokonanie oceny zmian rozwojowych i adaptacyjnych do różnych wysiłków fizycznych. Natomiast należna masa ciała oceniana jest powszechnie na podstawie wskaźnika masy ciała (BMI) inaczej zwanego wskaźnikiem Queteleta, która obliczana jest jako iloraz masy wyrażonej w kilogramach i kwadratu wysokości ciała wyrażonej w metrach [Wierzbicka-Damaska 2014]. W diagnostyce sportowej cenna jest też znajomość proporcji poszczególnych komponentów składu ciała, ponieważ podaje informacje o morfologicznej charakterystyce zawodnika pozwalając ocenić somatyczne efekty stosowanego treningu fizycznego [Wierzbicka-Damaska 2014].

W literaturze wskazuje się, iż proste pomiary antropologiczne wykonywane codziennie, systematycznie, które poparte są obserwacjami trenerskimi i podsumowującymi mezocykl badaniami grubości fałdów skórno-tłuszczowych, składu ciała i wydolności fizycznej mogą być pomocniczymi wskaźnikami optymalizacji treningu oraz jego doraźnych modyfikacji [Wierzbicka-Damaska 2013].

1.4. Negatywne efekty zdrowotne będące wynikiem wykonywania ciężkich wysiłków fizycznych

Wpływ wysiłku fizycznego na organizm ludzki jest wieloczynnikowy, gdyż dotyczy wielu narządów i układów. Typowa aktywność fizyczna ma korzystny wpływ na organizm i zmniejsza śmiertelność ogólną, zagrożenie przedwczesnym zgonem, prowadzi też do wydłużenia średniej życia nawet o 7-8 lat [Konopka i Braksator 2020]. Ale nadmierny wysiłek fizyczny może być zjawiskiem

patologicznym i prowadzić do urazów i uszkodzeń narządowych, co w krańcowym przypadku może zakończyć się kalectwem lub/i zgonem osoby podlegającej tym obciążeniom [Khodace i wsp. 2022]. Zwłaszcza ciężkie wysiłki fizyczne w specyficznych dziedzinach aktywności fizycznej, jak w sztukach walki, w tym w boksie mogą być związane z ciężkimi urazami. Przyczyną urazów są najczęściej: urazy w bezpośredniej walce sportowej, urazy i przeciążenia powstałe w trakcie treningu, zbyt szybkie podjęcie aktywności fizycznej po doznanym wcześniej urazie czy zachorowaniu, wadliwy sprzęt sportowy, nieodpowiedni stan obiektu sportowego, warunki atmosferyczne, a także inne przyczyny. W literaturze wskazuje się, iż 1/3 urazów wynika z przeciążenia organizmu [Złotowska i in. 2015].

Stan przetrenowania organizmu jest trudny do zdiagnozowania. Dochodzi do niego w wyniku zachwiania równowagi między stosowanymi bodźcami treningowymi i obciążeniem startowym procesami restytucji. Istnieje związek między zespołem przetrenowania z nadmiernym, forsownym oraz źle prowadzonym treningiem [Mędraś i Żukowska-Kowalska 2010]. Zespół przetrenowania charakteryzuje się wskaźnikami: anatomicznymi, fizjologicznymi, biochemicznymi oraz psychologicznymi. Anatomicznymi objawami przetrenowania są niekorzystne zmiany w aparacie kostnym, dotyczy to zwłaszcza młodych ludzi, do których może dojść do przyspieszenia kostnienia, co prowadzi do przerostu masy kostnej w miejscach przyczepów mięśni, także do bardzo silnego rozwoju mięśni w wymiarze poprzecznym. Z kolei fizjologiczne objawy przetrenowania dotyczą wszystkich narządów i układów. Można więc zaobserwować zaburzenia układu krążenia, częste stany zapalne układu moczowo-płciowego, zaburzenia żołądkowo-jelitowe lub odczuwanie stałego zmęczenia. Wśród biochemicznych objawów wymienia się natomiast skrócenie czasu krzepnięcia i wzrost liczby płytek krwi, obniżenie stężenia żelaza, wapnia, glukozy, potasu czy obniżenie stężenia hemoglobiny. Natomiast do immunologicznych wskaźników przetrenowania należy obniżenie odporności organizmu, częstsze infekcje lub spowolnienie gojenia się ran. Z kolei do psychicznych wskaźników przetrenowania należą zaburzenia łaknienia, zmiany nastrojów, chwiejność emocjonalna, poirytowanie, uczucie przytępienia, depresja, bezsenność, lęk przed zawodami, zmniejszona motywacja oraz duże wahania stopnia koncentracji [Złotowska i in 2015].

Jak już wcześniej wspomniano urazy i uszkodzenia narządowe mogą mieć charakter uszkodzeń mechanicznych, ale istotną rolę w patomechanizmie uszkodzeń narządowych odrywają też zaburzenia czynnościowe. W wyniku tych ostatnich może dochodzić do zaburzeń układu naczyniowo-sercowego, oddechowego, odpornościowego, mięśni szkieletowych, przewodu pokarmowego, układu nerwowego i nerek [Khodace i wsp. 2022].

Patomechanizm tych zmian w znacznym stopniu jest związany ze zmianami narządowego przepływu krwi w czasie wysiłku. W warunkach spoczynkowych, u osoby dorosłej, każda komora serca przepompowuje ok. 5 litrów krwi w ciągu 1 minuty. Jest to tak zwana pojemność minutowa serca. Powyższa pojemność minutowa jest następnie przetłaczana do poszczególnych narządów. W warunkach spoczynkowych do krążenia wieńcowego zaopatrującego serce trafia ok. 5% pojemności minutowej, czyli ok. 250 ml krwi na minutę; do krążenia mózgowego ok. 13-15% pojemności minutowej, do mięśni szkieletowych ok. 20%, skóra kości ok. 10-15%, przewód pokarmowy 25-35%, nerki ok. 20%. W maksymalnym wysiłku u osoby krążeniowo wydolnej pojemność minutowa wzrasta ok. 5 razy osiągając ok. 25 litrów/minutę. Dochodzi też do redystrybucji pojemności minutowej. Krew jest głównie kierowana do mięśni szkieletowych, do których dopływa ok. 80-85% pojemności minutowej serca. Do krążenia wieńcowego dopływa 4-5% pojemności minutowej, do mózgu 5-7%, do przewodu pokarmowego 3-5%, skóry i kości 3-4%, a do nerek ok. 1-2%. Taka redystrybucja krwi w ramach pojemności minutowej oraz zmiana wielkości pojemności minutowej powoduje, że przepływ krwi przez nerki w wysiłku spada. W warunkach spoczynkowych jest 20% pojemności minutowej wynoszącej 5 litrów, co daje 1000 ml/minutę; w dużym wysiłku pojemność minutowa wzrasta średnio do 25 l, ale dystrybucja krwi do nerek spada do 1-2% co powoduje, że przepływ krwi przez nerki spada do 250-500 ml/minutę. W przypadku maksymalnego wysiłku spadki te mogą być jeszcze większe, co może doprowadzić do ostrego uszkodzenia nerek (acute kidney injury – AKI) [Jouffroy i wsp. 2019]. Dlatego istotne jest określenie, czy zastosowane metody treningowe są bezpieczne dla uczestniczących w nich sportowców.

Lipokalina związana z żelatynazą neutrofilów (NGAL – neutrophil gelatinase-associated lipocalin), znana również jako lipokalina 2 jest białkiem, której obecność pierwotnie stwierdzono w ziarnistościach granulocytów. Przypadku ostrego uszkodzenia nerek (acute kidney injury - AKI) w następstwie niedotlenienia

czy ekspozycji na chemiczne czynniki uszkodzające dochodzi do zwiększonej ekspresji NGAL w obrębie pętli Henle'ya nefronów [Żyłka i wsp. 2015]. W AKI wzrost stężenia NGAL w moczu jest obserwowany już po 4-6 godzinach od uszkodzenia nerek, co pozwala na wczesne stwierdzenie nieprawidłowości [Nguyen i Devarajan 2008].

1.5. Trening wysokościowy w warunkach hipoksji

Teoretycy i praktycy sportu zmuszeni są do ciągłych poszukiwań w zakresie dobrego przygotowania sportowców do występu w różnych strefach czasowych, warunkach klimatycznych, czy wysokościowych. Jednocześnie stale doskonalią technikę treningu, chociaż jest to proces bardzo złożony z powodu ograniczonych predyspozycji i zdolności adaptacyjnych sportowców. Obecnie struktura treningu, obciążenia treningowe i startowe w wielu dyscyplinach sportu osiągnęły już najwyższe wartości, albo znajdują się na granicy adaptacyjnych możliwości organizmu. Wynika to z stale rosnącej i zaostrzającej się rywalizacji. Dlatego też coraz częściej sprawdzane jest zachowanie sportowca w warunkach wysokogórskich [Ambroży, Wieczorek i Mucha 2016].

Od dawna bowiem wiadomo, że wydolność fizyczna człowieka w warunkach wysokogórskich, czyli powyżej 1500 m n.p.m. ulega wyraźnemu pogorszeniu – widoczne jest to zwłaszcza przy wysiłkach długotrwałych, natomiast zdecydowanej poprawie ulegają zdolności wysiłkowe do pracy krótkotrwałej o mocy maksymalnej. Dowodem na to są wyniki jakie zostały uzyskane w trakcie trwania Igrzysk Olimpijskich w Mexico City na 2 240 m n.p.m. [Żołędź 2008]. Od tego momentu widoczne jest też większe zainteresowanie sportowców treningiem wysokogórskim (trening LH-TH ang. *live high-train high* – mieszkać wysoko – trenuj wysoko), który jak wykazały badania ma wiele zalet, ale również ma wiele minusów. Z jednej strony działa on pobudzająco na szpik kostny, ale może przyczynić się też do roztrenowania sportowca. Korzystniejszą formą jest trening w hipoksji na znacznie niższych wysokościach (2000-3000 m n.p.m.) – jest to koncepcja mieszkać wysoko – trenuj nisko (trening LH-TL ang. *live high-train low*). Obecnie stosuje się też przerywaną hipoksyjną ekspozycję podczas odpoczynku (IHE) oraz przerywaną hipoksyjną ekspozycję podczas sesji ciągłej (IHT). Pomimo istotnych różnic między tymi metodami, wszystkie mają na celu poprawę wydolności sportowej na poziomie morza [Millet i wsp., 2010].

Dlatego też skonturowano urządzenia, które pozwalają na uzyskanie symulowanej wysokości i warunków hipoksji bez konieczności przebywania w górach. Urządzenia te to komora hiperbaryczna, która symuluje małą wysokość (do max 1500 m n.p.m.) i wysokie ciśnienie atmosferyczne natomiast komora hipobaryczna (od 1500 do 5500 m n.p.m.) odtwarza większą wysokość i niższe ciśnienie [Maffetone 2021].

Najbardziej istotną cechą, która charakteryzuje obszary, które położone są wysoko nad poziomem morza jest ciśnienie atmosferyczne, obniżające się stopniowo wraz ze wzrostem wysokości. Obniżenie się ciśnienia atmosferycznego powoduje spadek ciśnienia parcjalnego tlenu (P_{aO_2}), który uzależniony jest od procentowej zawartości tlenu w powietrzu oraz ciśnienia atmosferycznego. Jednocześnie wraz ze wzrostem wysokości obniża się temperatura powietrza i zmniejsza się wilgotność względna [Birch, MacLaren, George 2008].

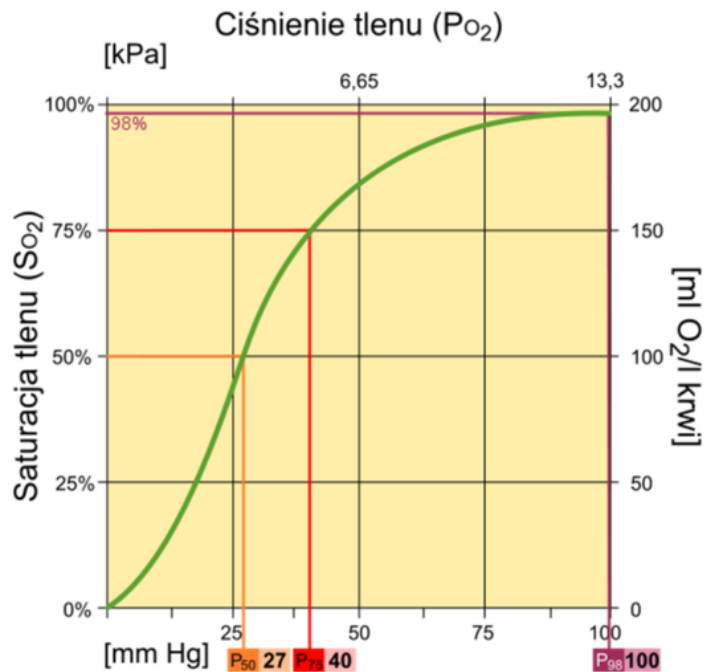
W wysokogórskich warunkach treningowych na rozwój wytrzymałości mają wpływ dwa podstawowe czynniki: aerodynamika i fizjologia. Spadek gęstości powietrza i zmniejszenie się aerodynamicznego oporu pozwala na osiągnięcie lepszych wyników (zwłaszcza w konkurencjach szybkościowych). Jednak wysokość wywiera niekorzystny wpływ na fizjologiczne procesy, głównie z powodu obniżenia parcjalnego ciśnienia tlenu w powietrzu, co wpływa w istotny sposób na obniżenie zdolności anaerobowych sportowców [Ambroży, Wiczorek i Mucha 2016].

Podejmowanie jakiegokolwiek pracy fizycznej wymaga gwałtownego wzmożenia aktywności mięśni szkieletowych, co powoduje wzrost ich zapotrzebowania na tlen. W początkowym okresie wysiłku fizycznego przemiany metaboliczne w mięśniach mają głównie charakter anaerobowy (beztlenowy). Im wyższy jest zasób substratów energetycznych wykorzystywanych w tych procesach i jednocześnie wyższa jest tolerancja powstających w ich wyniku zmian homeostazy, tym większa wydolnością anaerobową dysponuje organizm. Wydolność ta rośnie do około 30 roku życia [Inbar i Bar-Or 1986]. Mężczyźni charakteryzują się większą wydolnością anaerobową niż kobiety, co wynika z większej zawartości tkanki mięśniowej [Jastrzębska 2014]. Energia pozyskiwana jest na drodze glikolizy beztlenowej, co prowadzi do produkcji ATP, ale proces ten charakteryzuje się małą wydajnością i dość szybkim wykorzystaniem zapasów glukozy zmagazynowanej w mięśniach w postaci glikogenu [Słowińska-Lisowska 2010]. W wyniku przemian anaerobowych z 1 cząsteczki glukozy powstają 2 cząsteczki ATP, w przeciwieństwie do przemian

aerobowych opartych o cykl Krebsa w wyniku których z 1 cząsteczki glukozy powstaje ponad 30 cząsteczek ATP. Przemiany aerobowe wymagają jednak dłuższego okresu czasu i odpowiedniej podaży tlenu. Skuteczność wysiłków anaerobowych uwarunkowana jest wysoką zdolnością mięśni szkieletowych do początkowo szybkiego odtwarzania ATP w ramach tych przemian, co umożliwia utrzymywanie ich dużej aktywności motorycznej [Malarecki 1973]. Chcąc ocenić ogólny stan zdolności do wysiłków beztlenowych zazwyczaj bierze się pod uwagę: maksymalną siłę mięśni, maksymalną moc anaerobową, tolerancję kwasicy i podwyższonego stężenia P_i (fosforany nieorganiczne) i NH_3 (amoniak) oraz zdolność kompensowania kwasicy [Jastrzębska 2014].

Zdolności szybkościowe uzależnione są od wysiłków anaerobowych. Zdolności te związane są z charakterem pracy współczulnego i przywspółczulnego układu nerwowego, specyfiką układów enzymatycznych, strukturą mięśni i stopniem specjalnego wyćwiczenia układu ruchu [Osiński 2003]. Są one związane są z charakterystyką zdolności motorycznych i pewnym zakresem możliwości działania ruchowego. Zdolności szybkościowe jako przejaw motoryczności człowieka wskazują na możliwości przemieszczania się w przestrzeni całego ciała, albo jego określonych części w możliwie najkrótszym odcinku czasu [Osiński 2003].

Przebywanie w warunkach wysokogórskich powoduje zmiany fizjologiczne (ryc. I). Wdychanie powietrza z niską zawartością tlenu powoduje podrażnienie chemoreceptorów i wzrost wentylacji płuc, co powoduje iż do organizmu zarówno w spoczynku, jak i w czasie wysiłku dostarczana jest taka sama ilość tlenu jak na poziomie morza. W trakcie wykonywania umiarkowanych obciążeń treningowych zwiększa się częstotliwość skurczów serca proporcjonalnie do zmniejszania ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi tętniczej. W ciągu kilku pierwszych dni zwiększeniu ulega pojemność minutowa serca, zmniejszeniu ulega natomiast ukrwienie nerek, co stymuluje syntezę erytropoetyny (EPO). Wzrost zdolności krwi do transportu tlenu zwiększa zdolności aerobowe sportowców [Wilber 2007]. W czasie maksymalnego wysiłku na znacznej wysokości w porównaniu z wartościami dla obszarów położonych na poziomie morza maleje częstość akcji serca i objętość wrzutowa, co powoduje zmniejszenie maksymalnego wychwyty tlenu [Birch, MacLaren i George 2008].



Ryc. I. Krzywa wysycenia hemoglobiny w zależności od ciśnienia cząstkowego tlenu [Jagier, Nazar i Dziak 2013]

Zdolność wysiłkowa określana jest jako zdolność do wykonywania ściśle określonego zadania w ustalonych granicach czasu i parametrach wydajności [Fortuna 2008]. Jest ona rozpatrywana w odniesieniu do charakteru wykonywanej pracy albo do określonej cechy motoryczności (np. wytrzymałości tlenowej lub beztlenowej). Wśród determinant określających wydolność fizyczną wymienia się: energetykę wysiłku, termoregulację, koordynację nerwowo-mięśniową oraz czynniki psychologiczne [Kozłowski i Nazar 1999].

W trakcie wzmożonej aktywności ruchowej i w warunkach środowiska, które charakteryzuje się obniżoną zawartością tlenu w powietrzu, w organizmie człowieka rozwija się przejściowy stan określany jako hipoksja (niedotlenienie) [Wołkow, Szmatlan-Gabryś i Gabryś 2003]. Stan hipoksji tkankowej powstaje jeśli organizm nie jest zdolny do utrzymania stałej szybkości oddychania mitochondrialnego, przy zachowaniu stałego parcjalego ciśnienia tlenu na zewnątrz błony komórkowej [Connett, Gayeski i Honig 1990]. Przebywając w wysokich górach organizm sportowca jest cały czas stymulowany i uczy się jak ma funkcjonować w warunkach zmniejszonego stężenia tlenu w powietrzu. Zmusza to organizm do szybszego transportu cząsteczek tlenu do pracujących mięśni, gdyż jest ich mniej niż na wysokości morza [Grzywacz i Sitkowski 2009].

Podstawową klasyfikację stanów hipoksji stanowi jej podział na hipoksję hipoksyczną, hipoksemiczną i hiperbaryczną. Hipoksja hipoksyczna spowodowana jest obniżeniem prężności tlenu we wdychanym powietrzu, hipoksja hipoksemiczna powstaje w wyniku obniżenia prężności tlenu we krwi z powodu niedokrwistości, albo zaburzeń wiązania tlenu przez hemoglobinę. Odrębnym stanem hipoksji jest hipoksja wysiłkowa, która powstaje przy znacznym wzroście zużycia tlenu, czyli przy zwiększonym obciążeniu organizmu. Jej cechą charakterystyczną jest powstanie deficytu i długu tlenowego, obniżenie ciśnienia tlenu krwi żyłnej i tkance mięśniowej, obniżenie pH, zmiany równowagi kwasowo-zasadowej, nagromadzenie produktów metabolizmu beztlenowego we krwi, wzrost wielkości ExcCO_2 (the excess carbon dioxide emissions – nadmiernej emisji dwutlenku węgla) i wzrost szybkości jego zużycia [Craig 1972; Ozimek, Szmatlan-Gabryś 2001; Wołkow, Szmatlan-Gabryś i Gabryś 2003].

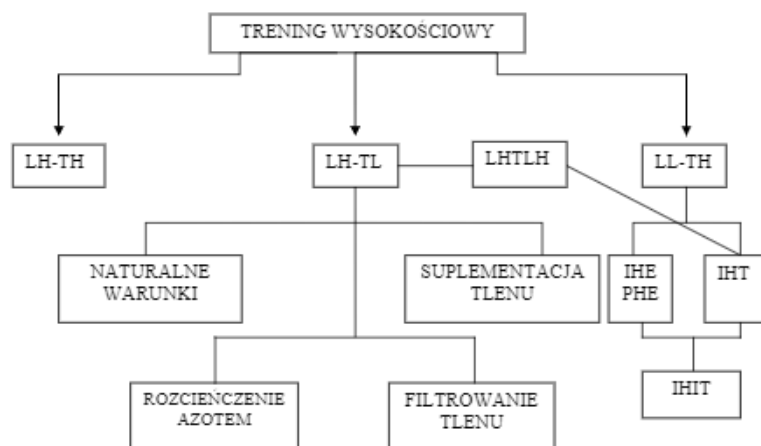
W literaturze rozróżnia się cztery stany hipoksji wysiłkowej:

- 1) hipoksję utajoną (I°), która powstaje na ograniczonych odcinkach włókien mięśniowych;
- 2) hipoksję kompensowaną (II°), która rozwija się w trakcie wykonywania pracy mięśniowej o umiarkowanym charakterze, wzrasta w niej wentylacja płuc i szybkość transportu tlenu i powstaje niewielki dług tlenowy (3-5%);
- 3) hipoksję dekompensowaną (III°), która powstaje w trakcie wysiłków o intensywnym charakterze, w których zużycie tlenu wynosi 75-85% VO_2max , a szybkość jego dostarczania nie odpowiada zapotrzebowaniu tkanek, powstaje więc deficyt tlenowy i widoczny jest nadmiar wydzielanego CO_2 ;
- 4) hipoksję niekompensowaną (IV°), w której szybkość transportu tlenu i CO_2 jest najwyższa, charakteryzuje się ona brakiem równowagi między dostarczaniem tlenu, a tlenowym zapotrzebowaniem organizmu – zużycie tlenu jest tu maksymalne i nie ulega zmianie przy zwiększeniu obciążenia, wysycenie krwi tlenem spada do 83-85%, a ciśnienie tlenu obniża się o 8-10 mmHg [Wołkow, Szmatlan-Gabryś i Gabryś 2003].

Współcześnie stale poszukuje się nowych metod szkoleniowych, które pozwolą na maksymalizację zdolności wysiłkowych sportowców. Wyniki badań wskazują na pewne korzyści jakie niesie za sobą trening wysokogórski. Jednym z głównym motywów podejmowania takich treningów jest obserwowany od lat stymulujący

wpływ hipoksji na układ erytrocytarny powodujący zwiększenie stężenia erytropoetyny we krwi. Prowadzi to do wzrostu produkcji erytrocytów i zwiększenia objętości krwi [Żołędź 2008]. Dlatego też coraz częściej wielu sportowców w dyscyplinach indywidualnych oraz w zespołowych grach sportowych włącza trening wysokościowy do całorocznego planu treningowego. Wyniki osiągane na poziomie olimpijskim świadczą, że trening wysokościowy w warunkach zwiększonej hipoksji powoduje różnice w osiągniętych rezultatach na poziomie około 0,5% [Wilber 2007].

Trening związany z poprawą wydolności tlenowej organizmu człowieka może odbywać się w warunkach hipoksji naturalnej (hipobarycznej) albo sztucznej (normobarycznej). Pobyt i trening w warunkach wysokogórskich związany jest z szeregiem niedogodności i możliwością pojawienia się niekorzystnych zmian, dlatego popularna stała się metoda treningu LH-TL, która ma wiele modyfikacji. W niniejszej pracy przyjęto podział nazewnictwa dla poszczególnych metod treningu zaproponowanych przez Wilbera [2007], który następnie został zmodyfikowany przez Milleta i wsp. [2010] (ryc. II).



Legenda:

LH-TH – (ang. live high –train high) = mieszkaj wysoko – trenuj wysoko – klasyczny trening wysokogórski

LH-TL – (ang. live high – train low) = mieszkaj wysoko – trenuj nisko

LHTLH – (ang. live high –train low and high) = mieszkaj wysoko – trenuj nisko i wysoko

LL -TH – (ang. live low – train high) = mieszkaj nisko – trenuj wysoko

IHE – (ang. intermittent hypoxic exposure) = przerywana ekspozycja na niedotlenienie w spoczynku

PHE – (ang. prolonged hypoxic exposure) = przedłużona ekspozycja na niedotlenienie

IHT – (ang. intermittent hypoxic training) = przerywana ekspozycja na hipoksję podczas sesji treningowej

IHIT – (ang. intermittent hypoxic exposure during interval training) = przerywana ekspozycja na niedotlenienie podczas treningu interwałowego

Ryc. II. Modele treningu wysokościowego w niedotlenieniu wg Wilbera [2007] w modyfikacji Millera i wsp. [2010]

Trening wysokościowy wskazany jest też dla bokserów, którzy atakują z maksymalną siłą co wymaga metabolizmu beztlenowego, ale jednocześnie po ataku i w przerwach między poszczególnymi rundami występuje metabolizm beztlenowy. Częstotliwość tych procesów zależy od także od liczby rund w walce [Slimani i wsp. 2017].

Korzyści treningu wysokogórskiego oprócz zwiększenia wentylacji i pojemności dyfuzyjnej płuc, wzrostu ilości erytrocytów, hemoglobiny i objętości krwi oraz zwiększenia sieci naczyń włosowatych, przepływu krwi przez serce, mózg i mięśnie, większej ilości mioglobiny magazynującej tlen w mięśniach i większej ilości mitochondriów odpowiedzialnych za produkcję energii w komórkach organizmu wynikają też z podwyższenia zdolności do wysiłku, następuje udoskonalenie aerobowych możliwości na skutek zwiększenia buforowej pojemności krwi i mięśni. W literaturze przyjmuje się, iż trening w warunkach wysokogórskich zwiększa możliwości transportu tlenu do mięśni i powoduje korzystne zmiany w mikrostrukturze tkanki mięśniowej [Ambroży, Wieczorek i Mucha 2016].

Badania Szatlan-Gabryś i wsp. [2005] wskazują, że hipoksja wysokościowa ma istotny wpływ na dobór i intensywność obciążeń treningowych. Stosowanie zbyt wcześnie intensywnych, beztlenowych wysiłków może być przyczyną narastania zmęczenia układu mięśniowego. Jednocześnie niedostateczne wysycenie tlenem krwi spowodowane hipoksją nie sprzyja przebiegowi procesów restytucji. Przy stosowaniu kolejnych wysiłków w stanie niepełnej odnowy powoduje nakładanie się zmęczenia i może prowadzić do chronicznego przemęczenia, niechęci do treningu oraz kontuzji.

Ambroży i wsp. [2020] proponują włączenie do programu treningów bokserskich przerywanego treningu hipoksji (IHT). W metodzie tej sportowiec przez 1-2h przebywa w komorze hipoksyjnej. Wykorzystuje się tu fizjologiczny mechanizm reakcji organizmu na niedotlenienie, co ma przyczynić się do zwiększenia sprawności aerobowej i beztlenowej. Badania dotyczące skuteczności treningu IHT nie są jednoznaczne. Część badaczy [Czuba 2011; Dufour 2006] sądzi, iż trening ten wpływa na poprawę zdolności do wysiłków długotrwałych o dużej intensywności, powoduje wzrost maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}) i zwiększa intensywność na progach metabolicznych, zwłaszcza drugiego progu wentylacyjnego (VT2), który ma ogromne znaczenie w sporcie wyczynowym. Z kolei w badaniach [Levine 2006] nie zanotowano wzrostu (VO_{2max}) w wyniku treningu IHT,

co prawdopodobnie wynika ze zbyt krótkiego czasu trwania ćwiczeń w stanach niedotlenienia. Badania [Faiss i wsp. 2013; Hendriksen i Meeuwssen 2003; Puype i wsp. 2013] sugerują, że warunki niedotlenienia zwiększają moc beztlenową wpływając na zdolność do wykonywania krótkotrwałych ćwiczeń fizycznych o maksymalnej i supramaksymalnej intensywności. Natomiast badania przeprowadzone przez [Brocherie i wsp. 2015; Sanchez i Borrani 2018] nie wykazały znaczącego wpływu treningu IHT na wydolność beztlenową, maksymalną prędkość biegu czy siłę eksplozywną kończyn dolnych.

Podstawowym środkiem przygotowania hipoksycznego są powtarzające się seanse sztucznie wywołanej hipoksji np. w komorze hipoksyjnej o zmiennym czasie trwania i zakresie obniżania P_{O_2} [Wołkow, Szmatlan-Gabryś i Gabryś 2003].

Za najskuteczniejszą metodę kontrolowania postępów związanych z przebywaniem w warunkach hipoksji uznaje się badanie krwi, które powinno objąć:

- morfologię krwi, gdzie określa się liczbę czerwonych krwinek, poziom hemoglobiny i hematokrytu;
- badanie poziomu żelaza, ferrytyny, witaminy B12, kwasu foliowego oraz innych witamin i soli mineralnych, co pozwala stwierdzić, czy w organizmie sportowca znajduje się odpowiednia ilość substancji koniecznych do osiągnięcia optymalnego poziomu terapii hipobarycznej;
- pomiar stężenia białka C-reaktywnego (CRP) i odczynu Biernackiego (OB.) pozwalającego na wykrycie stanu zapalnego [Maffetone 2021].

Badania te pozwalają na obiektywne monitorowanie zmian zachodzących w organizmie człowieka. Jak podkreśla się w literaturze skuteczność treningu w warunkach hipoksji w dużej mierze zależy również od diety sportowca [Maffetone 2021].

1.6. Wpływ obciążenia wysiłkiem na równowagę prooksydacyjno – antyoksydacyjną

Równowaga pro-antyoksydacyjna (RPA) to stan dynamicznej równowagi, który w warunkach homeostazy ustalany jest pomiędzy powstającymi, a zużytymi wolnymi rodnikami. Zaburzenie równowagi pomiędzy pro-oksydantami i antyoksydantami z przewagą tych pierwszych nosi nazwę stresu oksydacyjnego. Stres ten jest wynikiem zwiększonej produkcji wolnych rodników tlenowych i/lub

zmniejszonej wydolności mechanizmów anty-oksydacyjnych [Romero i wsp. 1998]. Jego wyrazem są uszkodzenia podstawowych struktur komórkowych (zwłaszcza białek i lipidów), co spowodowane jest ich peroksydacją prowadzącą do uszkodzeń błon komórkowych, zmian struktury receptorów błonowych, zaburzeń homeostazy wapniowej oraz do apoptozy lub nekrozy komórki [Murawska-Ciałowicz 2014]. Przyczyną zaburzenia RPA jest nadprodukcja reaktywnych form tlenu, niewydolność obrony antyoksydacyjnej spowodowana m. in. niedostateczną ilością antyoksydantów w diecie i zanieczyszczeniem środowiska (ryc. III).



Ryc. III. Czynniki nasilające generację reaktywnych form tlenu [Szyszka i Zembroń-Łacny 2000]

Reaktywne formy tlenu generowane są w trakcie wielu reakcji biochemicznych m.in. w czasie przepływu elektronów przez łańcuch oddechowy, przemiany puryn do kwasu moczowego, aktywacji komórek fagocytarnych układu immunologicznego, czy autooksydacji białek oddechowych. Procesy te są głównymi wysiłkowymi źródłami reaktywnych form tlenu (RFT), a ich aktywacja zachodzi w trakcie intensywnego wysiłku fizycznego albo w okresie powysiłkowym [Szyszka i Zembroń-Łacny 2000]. W warunkach homeostazy około 2–5% pochłanianego przez organizm tlenu jest przekształcana do RTF. Na stężenie RTF w organizmie mają wpływ czynniki endogenne (procesy utleniania na łańcuchu oddechowym oraz

nadmierna aktywacja neutrofilów) i egzogenne, takie jak: palenie papierosów, picie alkoholu, promieniowanie radiacyjne i ultrafioletowe, a także dieta uboga w antyoksydanty [Czerwiniecki 2009]. Nadmiar rodników tlenowych w organizmie sprzyja oksydacyjnym uszkodzeniom białek wewnątrzkomórkowych i błonowych prowadząc do zaburzeń ich funkcji katalitycznej, regulatorowej i transportowej [Pingitore i wsp. 2015].

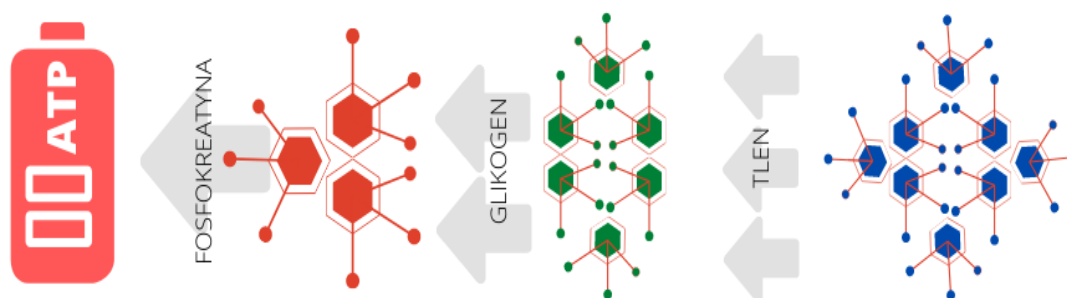
Wolne rodniki tlenowe stanowią grupę wysoce reaktywnych metabolitów tlenowych, wśród których szczególnie istotną rolę odgrywiają: anionorodnik ponadtlenkowy, nadtlenek wodoru, kwas podchlorawy, a przede wszystkim rodnik hydroksylowy [Kwiecień i wsp. 2014]. W warunkach prawidłowych pewna ilość wolnych rodników tlenowych powstaje w mitochondriach, skąd część przedostaje się do płynów ustrojowych. Są one jednak szybko eliminowane przez mechanizmy antyoksydacyjne obejmujące enzymy antyoksydacyjne i związki o właściwościach redukcyjnych. Dysmutaza ponadtlenkowa (superoxide dismutase – SOD), katalaza i peroksydaza glutationowa są najlepiej poznanymi i najważniejszymi enzymami odpowiedzialnymi za eliminację wolnych rodników [Panth i wsp. 2016]. Fizjologiczne poziomy wolnych rodników tlenowych odgrywiają rolę w regulacji czynności komórek, aktywności enzymatycznej, przekaźnictwa synaptycznego i w kontroli hormonalnej ustroju. Wolne rodniki tlenowe są również wykorzystywane przez organizm do zwalczania czynników infekcyjnych [Zuo i wsp. 2015].

W patologii, kiedy produkcja wolnych rodników tlenowych przekracza możliwości ich eliminacji przez mechanizmy antyoksydacyjne, powstające wolne rodniki prowadzą do uszkodzenia wszystkich elementów komórkowych doprowadzając do zaburzenia struktury i funkcji lipidów, białek i DNA [Zuo i wsp. 2015; Evans i wsp. 2004]. Stres oksydacyjny odgrywa istotną rolę w patomechanizmie zapalenia i uszkodzeń narządów. Udział stresu oksydacyjnego został potwierdzony m.in. w patogenezie chorób naczyniowo-sercowych [Panth i wsp. 2016], w chorobach przewodu pokarmowego [Kwiecień i wsp. 2014; Zhu i Li 2012], a także w uszkodzeniach i degeneracji mięśni szkieletowych [Jakson i McArdle 2011]. Stres oksydacyjny odgrywając istotną rolę w patomechanizmie zapalenia i uszkodzeń narządów, w znaczącym stopniu wpływa na możliwości wysiłkowe i funkcjonalne sportowców.

Badania Schneider i De Oliveira [2004] wykazują, iż w trakcie wysiłku fizycznego pobór tlenu przez organizm wzrasta ponad 15 razy, a pobór tlenu przez pracujące mięśnie może wzrosnąć 100-200 razy w stosunku do spoczynku. Również badania Zabłockiej i Janusza [2008] oraz Pingitore i wsp. [2015] wskazują, że w czasie wysiłku fizycznego mogą wystąpić zaburzenia równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej. Wyniki badań Pingitore i wsp. [2015] sugerują również, iż regularna aktywność fizyczna zwiększa potencjał antyoksydacyjny poprzez zmiany adaptacyjne w mięśniach i wzrost aktywności enzymów antyoksydacyjnych.

Wysiłek fizyczny mobilizuje kilka źródeł wolnych rodników tlenowych (ROS): mitochondrialny łańcuch oddechowy, dehydrogenazę/oksydazę ksantynową, leukocyty obojętnochłonne i stan zapalny, hormony stresu, mioglobinę oraz mikrosomowy łańcuch transportu elektronów [Murawska-Ciałowicz 2014].

W mitochondrialnym łańcuchu oddechowym w warunkach fizjologicznych około 96-99% tlenu ulega czteroелеktrodowej redukcji do H_2O , a pozostała część to „wyciek”, który przekształcany jest w mitochondriom w nadtlenek wodoru (H_2O_2) przez SOD. „Wyciek” ten jest zdecydowanie większy przy wysiłku, co ma bezpośredni związek z większym poborem tlenu przez mięśnie. W trakcie niedotlenienia mięśni i reperfuzji źródłem wolnych rodników może być enzym dehydrogenaza/oksydaza ksantynowa. ATP podczas wysiłków beztlenowych jest redukowany do monofosforanu (AMP) i adenylo-dwufosforanu (ADP) [Murawska-Ciałowicz 2014]. Do odbudowy zasobów ATP dla pracujących mięśni służą 3 systemy energetyczne: fosfagenowy, glikotyczny i tlenowy (Ryc. IV).



Ryc. IV. Odbudowa zasobów ATP dla pracujących mięśni

System fosfagenowy i glikolityczny odtwarza ATP bez udziału tlenu, charakteryzuje się uzyskaniem wysokiego poziomu mocy (800 W/kg) masy mięśniowej, natomiast system glikolityczny uzyskuje moc 325 W/kg, a system tlenowy 200 W/kg. System tlenowy wykorzystuje tlen do retro syntezy ATP.

Badania wykazują, że wysiłki, które prowokują niedotlenienie mięśni szkieletowych np. w warunkach hipoksji stymulują generowanie równowagi pro-antyoksydacyjno-antyoksydacyjnej [Murawska-Ciałowicz 2014]. Podczas wysiłku fizycznego maksymalne napięcie mięśni lub bodziec mechaniczny może być przyczyną uszkodzeń włókien mięśniowych, co powoduje aktywację leukocytów i wytwarzanie równowagi pro-antyoksydacyjno-antyoksydacyjnej. Jednocześnie w trakcie wysiłku wzrasta stężenie hormonów stresu, zwłaszcza katecholamin, które silnie aktywują leukocyty z puli zapasowej [Miyzaaki 2001].

Innym źródłem rodników tlenowych jest mioglobina (Mb), czyli białko występujące w mięśniu sercowym i mięśniach szkieletowych. Jego podstawową funkcją jest wewnątrzkomórkowy transport tlenu. W czasie spoczynku jest ona związana z tlenem, a wskutek intensywnego wysiłku fizycznego powstaje w tkankach nieutlenowana forma mioglobiny [Murawska-Ciałowicz i wsp. 2005]. Potencjalnym miejscem wytwarzania równowagi pro-antyoksydacyjno-antyoksydacyjnej w trakcie długotrwałych wysiłków mogą być peroksydazy, gdyż wówczas wolne kwasy tłuszczowe są głównym źródłem energii do pracy serca i mięśni szkieletowych [Murawska-Ciałowicz 2014].

Badania wykazują, że istnieje zależność między typem uprawianej dyscypliny sportowej, a zakresem zmian w równowadze prooksydacyjno-antyoksydacyjnej [Zembroń-Łacny, Szyszka i Hübner-Woźniak 1999; Szyszka-Zembroń-Łacny 2000]. Zmiany te związane są z antyoksydantami i z poziomem produktów uszkodzenia błon komórkowych (TBARS – poziom produktów peroksydacji reagujących z kwasem tiobarbiturowym – jest to powszechnie stosowany wskaźnik oksydacyjnego uszkodzenia tkanek), czyli stroną prooksydacyjną poprzez reaktywne formy tlenu w procesie peroksydacji. Badania wskazały, iż w przypadku strony antyoksydacyjnej zróżnicowany jest poziom co najmniej dwóch antyoksydantów; glutationu (GSH+GSSG), który reprezentuje antyoksydanty hydrofilowe i dysmutazę ponadtlenkową (SOD). Reprezentującej antyoksydanty enzymatyczne. Wyniki wskazują, że zawodnicy sportów siłowych, kulturyści i zapaśnicy charakteryzują się najwyższym poziomem aktywności SOD w krwinkach czerwonych i wysokim

poziomem TBARS. Stwierdzono, że im bardziej nasilona jest aktywność SOD, w czasie treningów, tym wyższy jest poziom oksydacyjnego uszkodzenia krwinek [Szyszka-Zembroń-Łacny 2000].

Badania Tanskane, Ataly i Uusitalo [2010] przeprowadzone wśród sportowców przetrenowanych wskazują zwiększony stres oksydacyjny odgrywa rolę w patofizjologii zespołu przetrenowania. Osłabione reakcje stresu oksydacyjnego i zdolności antyoksydacyjnej na wysiłek fizyczny w stanie przetrenowania mogą być związane z niezdolnością do skutecznego wykonywania ćwiczeń i upośledzoną adaptacją do ćwiczeń.

1.7. Cel pracy

Za główny cel pracy przyjęto ocenę efektów eksperymentalnego programu treningowego, w warunkach hipoksji normobarycznej w okresie przygotowawczym na wybrane zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym.

Uwzględniając dotychczasowe doniesienia naukowe można postawić hipotezę główną, iż trening specjalistyczny w okresie przygotowawczym w komorze hipoksyjnej wywiera wpływ na zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym. Do hipotezy głównej postawiono następujące hipotezy szczegółowe:

1. Zastosowany trening eksperymentalny w warunkach hipoksji normobarycznej poprawia poziom badanych zdolności motorycznych.
2. Zastosowany trening eksperymentalny poprawia poziom wydolności tlenowej i beztlenowej badanych zawodników.

Aby móc przyjąć lub odrzucić powyższe hipotezy badawcze podczas planowania projektu postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy zastosowany trening eksperymentalny w komorze hipoksyjnej wpłynął na poziom badanych parametrów morfologicznych i funkcjonalnych organizmu?
2. Czy trening bokserski w okresie przygotowawczym, realizowany w komorze hipoksyjnej powoduje zmiany wydolności aerobowej i anaerobowej u zawodników z grupy eksperymentalnej, a jeżeli tak, to jaki jest kierunek

tych zmian?

3. Czy eksperymentalny trening wpłynął na badane zdolności motoryczne, jeżeli tak, to w jakim kierunku i stopniu?
4. Czy stosowanie eksperymentalnego treningu w warunkach hipoksji wpływa na wielkość stresu oksydacyjnego i stan równowagi oksydacyjno-redukcyjnej ustroju?
5. Czy zastosowanie proponowanego treningu, ze względu na jego intensywność prowadzi do uszkodzeń takich narządów jak serce, nerki, trzustka lub wątroba w grupie podlegających mu bokserów²?

Analiza wyników i wnioski z przeprowadzonych badań mogą posiadać wartość zarówno poznawczą jak i aplikacyjną. Uzyskane bowiem odpowiedzi, prawdopodobnie pozwolą w praktyce na skuteczniejsze planowanie treningu specjalistycznego u bokserów w okresie przygotowawczym i zastosowanie w nim komory hipoksyjnej, co wpłynie na ich zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego.

² W okresie trwania eksperymentu zawodnicy nie będą brali udziału w zawodach sportowych oraz sparringach na poziomie intensywności startowej.

2. Materiał i metody badań

2.1. Charakterystyka badanej grupy

Badania przeprowadzono na grupie 20 bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym ($23,9 \pm 3,0$ lat), których średni staż treningowy wynosił $10 \pm 4,0$ lat. Dokonano losowego podziału badanych na 2 grupy (grupa eksperymentalna $n=10$, grupa kontrolna $n=10$). Badania przeprowadzono po zakończonym okresie przejściowym (okres przygotowawczy), w czasie trwania eksperymentu mężczyźni nie zmieniali nawyków żywieniowych oraz nie stosowali żadnych używek oraz suplementów diety. W okresie trwania eksperymentu zawodnicy nie brali udziału w zawodach sportowych oraz sparringach na poziomie intensywności startowej. Pełny cykl badań ukończyła 20-osobowa grupa zawodników. Kryteria włączenia i wyłączenia do/z badania przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Kryteria włączenia i wyłączenia

Kryteria włączenia	Kryteria wyłączenia
Płeć mężczyźni	Palenie tytoniu
Wiek 20-36 lat	Nadużywanie alkoholu i innych używek
Orzeczenie lekarskie o braku przeciwwskazań zdrowotnych do wykonywania wysiłków	Zmiany diety w czasie trwania eksperymentu
Niestosowanie farmakoterapii oraz suplementów na okres prowadzenia badań oraz co najmniej 4 tygodni poprzedzających badania	Historia choroby wysokogórskiej w wywiadzie
Zawodnik klasy mistrzowskiej w boksie	Przebywanie ponad 48 godzin na wysokości powyżej 2000m n.p.m. w okresie 6 miesięcy przed rozpoczęciem badań
Świadoma zgoda pacjenta na udział w badaniu	

W grupie badanej (eksperymentalnej) przeprowadzono modyfikację treningu (zmienna niezależna) poprzez wprowadzenie do ich standardowego treningu programu eksperymentalnego. Zmienną zależną w tym przypadku będzie sprawność fizyczna rozumiana jako różnice w przeprowadzonych próbach sprawności w obu grupach. Ocena badanych zostanie przeprowadzona przed, w trakcie i po cyklu treningowym.

Badani charakteryzowali się średnią wysokością ciała (BH) wynoszącą $182,9 \pm 5,09$ cm (zawodnicy trenujący w warunkach hipoksji normobarycznej), a u zawodników trenujących w warunkach normoksji BH wynosiło $179,7 \pm 9,19$ cm. Najwyższy zawodnik liczył $190 \pm$ cm, a najniższy $170 \pm$ cm. Ich średnia masa ciała wynosiła $80,9 \pm 8,48$ kg (grupa trenująca w warunkach hipoksji normobarycznej) oraz $77,7 \pm 9,19$ kg w warunkach normoksji. Ponieważ w badanej grupie znajdowali się zawodnicy z różnych kategorii wagowych ich waga na imprezach krajowych i międzynarodowych różniła się znacznie między sobą. Najcięższy bokser ważył $106,9$ kg, a najlżejszy $66,9$ kg.

Projekt badań uzyskał zgodę Komisji Bioetycznej przy Okręgowej Izbie Lekarskiej w Krakowie nr 42/KBL/OIL/2015, finansowany był w ramach badań statutowych AWF Kraków. Udział w projekcie badawczym był dobrowolny. Badani zostali poinformowani o celach i przebiegu badań oraz wyrazili pisemną zgodę na udział. Zgodnie z wymaganiami deklaracji Helsińskiej zostali poinformowani o celu badań, stosowanej metodyce, ewentualnych efektach ubocznych oraz o możliwości rezygnacji z udziału w badaniach na dowolnym momencie bez podawania przyczyny. Zgodnie z obowiązującymi standardami badania przebiegały pod nadzorem wykwalifikowanego personelu medycznego i zostały wykonane w Zakładzie Fizjologii i Biochemii Akademii Wychowania Fizycznego w Krakowie.

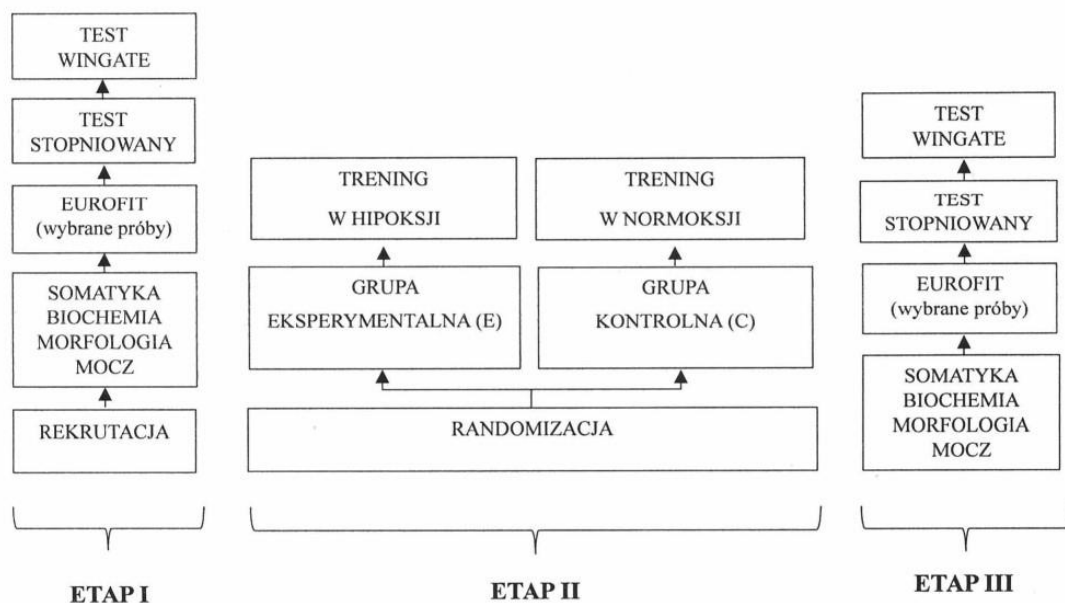
2.2. Ogólny schemat organizacji badań

Reguły postępowania badawczego podporządkowane zostały głównemu celowi pracy oraz zasadom metodologii badań obowiązujących w naukach o kulturze fizycznej. Plan organizacji badań składał się z trzech zasadniczych etapów, w których realizowane były odrębne zadania:

- **ETAP I** (pre-test) - przed rozpoczęciem interwencji treningowej przeprowadzono kompleksowe pomiary somatyczne, biochemiczne i morfologiczne badanych zawodników, ponadto wykonano analizę składu moczu badanych mężczyzn. Dodatkowo przeprowadzono cztery wybrane próby (skok w dal z miejsca, pomiar siły ręki, siady z leżenia, podciąganie na drążku) z baterii testu Eurofit [Dobosz 2012]. W ramach pierwszego etapu badań w odstępie 3 dni przeprowadzono ocenę wydolności aerobowej i anaerobowej zawodników.

- **ETAP II** (trening) - na podstawie testu stopniowanego ustalono obciążenia treningowe i rozpoczęto 6-tygodniowy cykl treningowy realizowany w środowisku hipoksji normobarycznej lub normoksji.
- **ETAP III** (post-test) - po zakończonym programie treningowym pomiary z etapu pierwszego powtórzono.

Wszystkie testy fizjologiczne i biochemiczne przeprowadzono w klimatyzowanym laboratorium w godzinach przedpołudniowych, nie wcześniej niż 2 godziny po lekkim posiłku (Ryc. V).



Ryc. V. Schemat organizacji badań

2.3. Pomiary somatyczne

Dokonano pomiaru wybranych wskaźników biometrycznych takich jak masa (BM) i wysokość ciała (BH). Do oceny struktury ciała zastosowano technikę bioimpedancji elektrycznej ośmioelektrodowej wyznaczając beztłuszczową masę ciała (LBM), procent zawartości tkanki tłuszczowej (F%) i masę tkanki tłuszczowej (FAT). Poziom wskaźników pozwalających na analizę składu i masy ciała określono przy wykorzystaniu analizatora składu ciała Tanita (MC 718, Japonia). Wysokość ciała określono wykorzystując antropometr typu Martin (USA) z dokładnością pomiaru do 0,5 cm. Na podstawie masy i wysokości ciała wyliczono wskaźnik wagowo-wzrostowy BMI [Must i Anderson 2006] – Tabela 8.

Tabela 6. Wskaźniki somatyczne badanych

Zmienne	Trening hipoksji				Trening Normoksji			
	Zanim	Po	P	D	Zanim	Po	P	D
BH (cm)	182,9 ± 5,09	182,9 ± 5,09	-	-	179,7 ± 4,61	179,7 ± 4,61	-	-
BM (kg)	80,9 ± 8,48	80,3 ± 8,35	0,05	0,07	77,7 ± 9,19	78,0 ± 9,16	0,30	0,03
BMI	24,2 ± 1,88	24,0 ± 1,80	0,05	0,11	24,1 ± 2,53	24,2 ± 2,54	0,29	0,04
F(%)	15,3 ± 3,84	14,9 ± 3,22	0,47	0,11	14,1 ± 4,49	14,5 ± 4,22	0,36	0,09
FAT (kg)	12,5 ± 4,06	12,1 ± 3,54	0,32	0,11	11,1 ± 4,19	11,5 ± 4,11	0,19	0,10
LBM (kg)	68,4	67,8	0,97	0,97	66,6	66,6	1	0,94

Legenda:

BH – wysokość ciała, BM – masa ciała, BMI – wskaźnik masy ciała, F – zawartość tkanki tłuszczowej, FAT – masa tkanki tłuszczowej, LBM – beztłuszczowa masa ciała, P – wartość istotności statystycznej, D - różnica

Pomiar wykonano we wczesnych godzinach porannych z uwzględnieniem wymagań dyrektywy MDD 93/42EEC dotyczącej urządzeń medycznych [Acland i wsp. 2012].

2.4. Pomiary biochemiczne i morfologiczne

Krew do oznaczeń biochemicznych z zagłębienia łokciowego została pobrana przez wykwalifikowanego diagnostę laboratoryjnego bezpośrednio przed i po programie treningowym w Zakładzie Diagnostyki Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie zgodnie z obowiązującymi standardami. Krew pobierano do próbek K₂EDTA (4 ml). Próbki krwi odwirowano (1500 rpm) w celu oddzielenia surowicy, do momentu odwirowania były zamrożone i przechowywane w lodzie.

W surowicy metodą automatyczną, przy użyciu aparatu Sysmex XE 2100 (Sysmex Corporation, Kobe, Japonia) z wykorzystaniem mikropłytek E-liza Mat 3000 (DRG, Medical Instruments GmbH, Niemcy) oznaczono: erytrocyty (RBC), hematokryt (HCT), retikulocyty (RET), hemoglobinę (Hb) i leukocyty (WBC).

2.5. Równowaga pro-oksydacyjna

W surowicy krwi żyłnej oznaczone zostały wybrane markery stresu oksydacyjnego. W uzyskanym materiale za pomocą zestawu Commercial kit Bioxytech[®]LPO-586TM (OxisResearchTM, OXIS Health Products, Inc., Portland, OR, USA) ocenie zostało poddane stężenie: glutationu całkowitego (GSH), glutationu zredukowanego (GSSG), dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) i dialdehydu molonowego (MDA).

2.6. Mleczan (La)

Bezpośrednio przed rozpoczęciem testu Wingate oraz w 3 i 20 min po jego zakończeniu z opuszki palca została pobrana krew (10µl) do oznaczenia stężenia mleczanu (LA). Stężenie mleczanu oznaczone zostało z wykorzystaniem minifotometru Dr. Lange LP20 (Niemcy) (pomiarowa długość fali 520 nm).

2.7. Badanie moczu

Ze względu na dużą intensywność wysiłku fizycznego w trakcie stosowania treningu bokserskiego należy się spodziewać, że dochodzi do znacznych zmian dystrybucji pojemności minutowej serca do poszczególnych narządów. Celem uzyskania pewności, że proponowana metoda treningowa jest bezpieczna dla bokserów jej podlegających określono w surowicy poziom markerów charakterystycznych dla uszkodzeń nerek (NGAL - estimation of neutrophil gelatinase-associated lipocalin).

Ogólne badanie moczu przeprowadzono przy użyciu analizatora U601 Roche. Stężenie NGAL w moczu badano za pomocą ARCHITECT Analizer Abbott Diagnostics (Abbott Park, USA) przy użyciu metody immunochemicznej z użyciem *mikrocząstek* i znacznika *chemiluminescencyjnego* (chemiluminescent microparticle immunoassays - CMIA). Stężenie glutationu w osoczu określano stosując metodę opisaną przez Beutler'a i innych [Beutler 1963]. Osoczną aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (superoxide dismutase – SOD) oznaczano przy użyciu metody opisaną przez Misra i Fridovich, opierającej się na hamowaniu autooksydacji adrenaliny do adrenochromu w alkalicznym pH [Misra i Fridovich 1972]. Stężenie dialdehydu malonowego (malondialdehyde – MDA) w osoczu oznaczana za pomocą zestawu Commercial kit Bioxytech[®]LPO-586TM (OxisResearchTM, OXIS Health Products, Inc., Portland, OR, USA).

2.8. Pomiary zdolności motorycznych - Eurofit

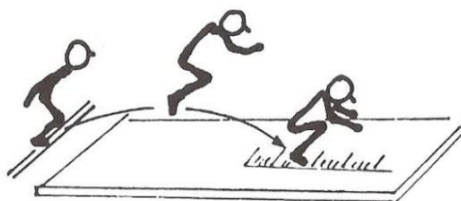
Pomiaru zdolności motorycznych dokonano za pomocą wybranych testów z Eurofitu (Europejskiego Testu Sprawności Fizycznej) [Claude i wsp. 2021]. Wykorzystano cztery próby sprawnościowe: skok na odległość z pozycji stojącej, zaciskanie ręki z maksymalną siłą na dynamometrze, maksymalną liczbę siadów.

1. Skok w dal z miejsca (SBJ) (Ryc. VI).

Miejsce przeprowadzenia próby: sala gimnastyczna ze sztuczną nawierzchnią,

Sprzęt: taśma miernicza,

Sposób wykonania: badany ustawiony był na linii startu (pozycja zasadnicza), poprzez zamachową pracę ramion wykonywał skok w przód, odległość skoku mierzona była od linii startu do ostatniego pozostawionego śladu, próbę powtarzano dwukrotnie, uwzględniano najlepszy wynik.



Ryc. VI. Siła eksplozywna

Źródło: [Claude i wsp. 2021]

2. Zaciskanie ręki (HGR) (Ryc. VII)

Miejsce przeprowadzenia próby: sala gimnastyczna ze sztuczną nawierzchnią,

Sprzęt: elektroniczny dynamometr ręczny KERN (MAP 80K1S)

Sposób wykonania: badany chwycił dynamometr kończyną dominującą, opuszczał rękę wzdłuż ciała, następnie wykonywał maksymalny ścisk, próba powtarzano dwukrotnie, uwzględniano najlepszy wynik.



Ryc. VII. Pomiar siły ręki

Źródło: [Claude i wsp. 2021]

3. Siady z leżenia (SUP) (Ryc. VIII)

Miejsce przeprowadzenia próby: sala gimnastyczna ze sztuczną nawierzchnią,

Sprzęt: materac, stoper

Sposób wykonania: badany z leżenia tyłem przy ugiętych nogach i splecionych na karku dłoniach wykonywał siad ugięty (maksymalna ilość), czynność była powtarzana w przeciągu 30 s., próbę wykonywano jednokrotnie.



Ryc. VIII. Siła tułowia/wytrzymałość mięśni brzucha

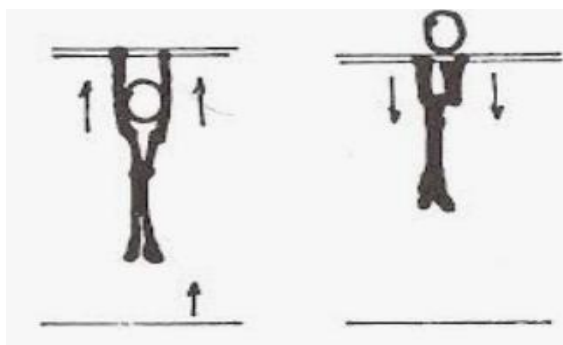
Źródło: [Claude i wsp. 2021]

4. Podciągnięcie na drążku (PUP) (Ryc. IX)

Miejsce przeprowadzenia próby: sala gimnastyczna ze sztuczną nawierzchnią,

Sprzęt: drążek poziomy

Sposób wykonania: chwyt drążka nachwytem – poprawne zliczenie podciągnięcia wymagało podniesienia brody powyżej drążka, zadanie wykonywano do momentu zmęczenia, próbę wykonywano jednokrotnie.



Ryc. IX. Podciąganie na drążku

Źródło: [Claude i wsp. 2021]

2.9. Test stopniowany

Do oceny wydolności tlenowej zastosowano metodę bezpośrednią - test o stopniowo wzrastającym obciążeniu wykonywany na bieżni mechanicznej (Saturn 250/100R, h/p/Cosmos, Niemcy) do odmowy kontynuowania pracy spowodowanej skrajnym zmęczeniem. W teście wyznaczono fizjologiczne wskaźniki na poziomie drugiego progu wentylacyjnego (VT2) oraz na poziomie maksymalnym (VO_{2max}). W celu wyznaczenia VT2 przeanalizowano zmiany wskaźników oddechowych wraz ze wzrostem intensywności pracy. Kryteria wyznaczenia VT2 były następujące: a) odsetek CO_2 w powietrzu wydychanym osiągnął max wartość i następnie uległ zmniejszeniu, b) równoważnik oddechowy dla dwutlenku węgla uzyskał minimalną wartość i następnie uległ zwiększeniu c) po przekroczeniu VT2 notowano nieliniowy, duży wzrost wentylacji płuc. Za wielkość VO_{2max} uznawano najwyższą zarejestrowaną wielkość [Rodríguez 2004].

Wysiłek testowy rozpoczął się czterominutową rozgrzewką w czasie której badany biegł ze stałą prędkością 8 km/h, przy kącie nachylenia bieżni 1° . Następnie co 3 minuty zwiększano prędkość biegu o 1,0 km/h. Gdy częstość skurczów serca zbliżała się do wartości maksymalnej, osiągnięta prędkość biegu była utrzymywana, a obciążenie zwiększane (co jedną minutę) przez kąt nachylenia bieżni o 1° . Próba była wykonywana do momentu odmowy kontynuowania dalszej pracy spowodowanej skrajnym zmęczeniem.

W trakcie testu zarejestrowano za pomocą ergospirometru (Cortez Metalizer 3B, Niemcy) następujące wskaźniki: wentylacji płuc (VE), poboru tlenu (VO_2), produkcji dwutlenku węgla (VCO_{2max}), stosunku oddechowego do wymiany (RER), wydechowego stężenia dwutlenku węgla ($\%FECO_2$), współczynnika równoważnika wentylacji dla tlenu i dwutlenku węgla (VE/VCO_{2max}) oraz częstość akcji serca (HR). Częstość skurczów serca (HR) podczas testu mierzono za pomocą sport-testera (S-610i, Polar, Finlandia). Na tej podstawie dokonano analizy zmian wskaźników oddechowych wraz ze wzrostem intensywności pracy. Metoda ta pozwala na precyzyjne monitorowanie postępów w zwiększeniu wydolności zawodników oraz na dokładne zaplanowanie obciążeń treningowych [Costill, Maglischo i Richardson 1996].

2.10. Test Wingate (kończyny dolne)

Pomiary fizjologiczne wykonano też wykorzystując test mocy maksymalnej – test Wingate na kończyny dolne (ang. Wingate Anaerobic Test - WAnT). Do oceny wydolności anaerobowej zastosowano test Wingate (kończyny dolne). Zasadniczy wysiłek poprzedzono 5 minutową rozgrzewką na cykloergometrze rowerowym (Cyclus 2, RBM elektronik-automation GmbH, Lipsk – Niemcy) z obciążeniem 1 kg i częstością pedałowania (RPM) 60 obrotów/min. W trakcie której wykonano 2 pięciosekundowe przyspieszenia w 2 i 4 minucie. Po 2 min przerwy przeprowadzono test właściwy, w którym badany wykonywał 30 sekundowy maksymalny wysiłek fizyczny z obciążeniem 8,5% masy ciała [Bar-Or 1987].

W trakcie testu zarejestrowano następujące wskaźniki: moc maksymalną (PP), moc średnią (MP), pracę całkowitą (TW), czas uzyskania szczytowej mocy (toPP), czas utrzymania mocy maksymalnej (tmPP) oraz wskaźnik spadku mocy (IDP) [Adach i Naczk 2015].

Test Wingate na kończyny dolne przeprowadzono po 3 dnia przerwy od testu stopniowanego.

2.11. Program treningowy

Mężczyźni z grupy eksperymentalnej (gr. E) trenowali na wysokości 3800 m n.p.m. przy $FIO_2=12,9\%$, temp. 21-22°C i wilgotności 40-45% (hipoksja normobaryczna). Natomiast sportowcy z grupy kontrolnej (gr. C) realizowali ten sam trening w normoksji (230 m n.p.m. Kraków) w zbliżonych warunkach środowiskowych. Sesje treningowe były realizowane 3 razy w tygodniu przez okres 6 tygodni, co łącznie stanowiło 18 jednostek. Autorski program treningowy bazujący na treningu specjalistycznym składał się z dwóch części. W pierwszych czterech tygodniach mikrocyklu kształtowano wytrzymałość-szybkościową (część I) a w dwóch kolejnych siłę (część II).

Trening specjalistyczny realizowany był z wykorzystaniem cykloergometru rowerowego Monark typ 834 E (Szwecja). Pojedyncza jednostka treningowa składała się z trzech części o łącznym czasie trwania 60 min (Tab. 7, Tab. 8).

Tabela 7. Schemat budowy pojedynczej jednostki treningowej (wytrzymałość-szybkościowa)

ROZGRZEWKA	CZĘŚĆ GŁÓWNA	CZĘŚĆ KOŃCOWA
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 min ▪ 8 min część ogólna ▪ 2 min część specjalistyczna 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 40 min ▪ 30 min wysiłek ciągły: 60-70% HRmax ▪ 10 min wysiłek interwałowy: 45s pracy (80-90% HRmax)/ 15s odpoczynku (50% HRmax) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 min ▪ 8 min ćwiczenia o charakterze kompensacyjnym ▪ 2 min uspokojenie organizmu

W części głównej treningu bokserzy po wykonanej rozgrzewce wykonywali 30 min wysiłek ciągły na ergometrze rowerowym przy indywidualnie dobranej intensywności odpowiadającej 60-70% HRmax. Po tym czasie wykonano interwałowy wysiłek fizyczny wg. schematu: 45 s pracy na poziomie 80-90% HRmax/ 15 s aktywnego wypoczynku na poziomie 50% HRmax - łącznie wykonano 10 powtórzeń. Końcowe 10 minut treningu poświęcone zostało na ćwiczenia kompensacyjne oraz ćwiczenia oddechowe (Tab. 7).

Tabela 8. Schemat budowy pojedynczej jednostki treningowej (siła)

ROZGRZEWKA	CZĘŚĆ GŁÓWNA	CZĘŚĆ KOŃCOWA
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 min ▪ 8 min część ogólna ▪ 2 min część specjalistyczna 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 40 min ▪ 10 min ćwiczenia techniczne: serie ciosów, haków, cięć podbródkowych i ich kombinacji, poruszanie się w różnych kierunkach ▪ 30 min obwód stacyjny: 60s pracy/15s odpoczynku x 4 obwody <ul style="list-style-type: none"> 1 stacja - Mountain climbers 2 stacja - Dead bug 3 stacja - Przysiad z wyskokiem 4 stacja - Pompki 5 stacja - Wykroki 6 stacja - Russian Twist 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 min ▪ 8 min ćwiczenia o charakterze kompensacyjnym ▪ 2 min uspokojenie organizmu

W części głównej treningu bokserzy po wykonanej rozgrzewce przez 10 min wykonywali ćwiczenia techniczne charakterystyczne dla tej dyscypliny sportu (serie ciosów, haków, cięć podbródkowych i ich kombinacji, zmiany tempa i kierunku biegu). Po tym czasie wykonano obwód stacyjny składający się z 6 stacji na których były realizowane ćwiczenia siłowe z wykorzystaniem masy własnego ciała z zachowaniem zmienności pracy. Czas pracy na stacji wynosił 60 s przy 15 s biernego odpoczynku. Obwód powtarzany był czterokrotnie co łącznie stanowiło 30 min. Końcowe 10 minut treningu poświęcone zostało na ćwiczenia kompensacyjne oraz ćwiczenia oddechowe (Tab. 8).

Treningi przeprowadzono w komorze hipoksji normobrycznej (Wichary Technologie, Polska), gdzie temperatura otoczenia i wilgotność względna powietrza była kontrolowana termohigrometrem Harvia (Finlandia) i elektrotermometrem Ellab (Dania) z dokładnością pomiaru do $\pm 3\%$ i $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, a ruch powietrza katatermometrem Hilla. Wszyscy mężczyźni podczas zajęć korzystali z monitorów częstości skurczów serca- w celu rejestracji intensywności wysiłku (Polar S610, Finlandia).

2.12. Analiza statystyczna i sposób prezentacji wyników

Dane uzyskane w przeprowadzonych badaniach pozwoliły na dokonanie obliczeń statystyk opisowych dla budowy somatycznej, wydolności aerobowej i anaerobowej badanej grupy oraz wskaźników bichemicznych.

Do opracowania materiałów wykorzystano następujące miary statystyczne: średnia arytmetyczna (\bar{x}), odchylenie standardowe (s), max i min.

W celu odniesienia się do wpływu warunków realizacji programu treningowego dotyczącego uwzględnionych wskaźników, przeprowadzona została dwuczynnikowa analiza wariancji w schemacie mieszanym: 2 (warunek: hipoksja vs. normoksja) \times 2 (moment pomiaru: przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego). W przypadku wskaźników, gdzie odnotowane zostało złamanie założenia o normalności rozkładów, w analizie różnic pomiędzy pomiarami w każdym z warunków treningu dodatkowo zastosowany został test Wilcoxon dla par obserwacji.

Przy analizach wykorzystano program SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), w którym zastosowano mieszany model z metodą estymacji REML.

Normalność rozkładu testowano wizualnie za pomocą wykresów Q-Q i testu Shapiro-Wilka. Główne efekty dla rodzaju metody treningowej, czasu pomiaru, i interakcji głównych efektów oceniono za pomocą analizy wariancji z powtarzanymi pomiarami (ANOVA) z dodatkową oceną współzmiennych dla doświadczenia treningowego, wieku i somatycznych wskaźników składu ciała. Dodatkowo jednorodność oceniono testem Levene'a, a sferyczność wariancji testem Mauchly'ego, dla sferycznej poprawki Greenhouse'a-Geissera. W przypadku istotnych efektów głównych przeprowadzono ocenę post-hoc z zastosowaniem poprawki Bonferroni. Istotność ustalono na poziomie $p < 0,05$. Wyniki przedstawiono jako średnią i odchylenie standardowe. Wielkość efektu określono na podstawie częściowego kwadratu eta (η^2) dla istotnych zależności i sklasyfikowano jako mały $\leq 0,06$, umiarkowany $0,07-0,14$ lub duży $> 0,15$.

Wszystkie analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu pakietu statystycznego JASP Team JASP (Amsterdam, Holandia, wersja 0.17.2).

3. Wyniki

W formie tabel przedstawiono rezultaty dla testów istotności efektów stałych (analiza wariancji), a dla średnich brzegowych w formie rycin ze względu na ich czytelny charakter. W tym rozdziale zamieszczono w tekście dla wybranych zmiennych oszacowane wartości p dla poszczególnych porównań.

3.1. Wskaźniki somatyczne

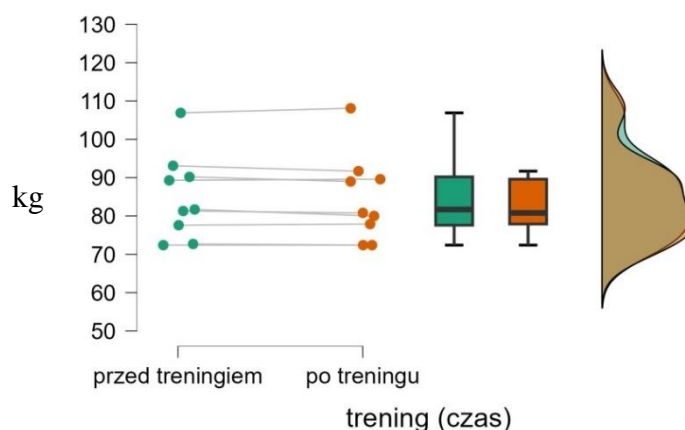
Tabela 9 przedstawia statystyki opisowe dotyczące wskaźników składu ciała badanych przed i po programie treningowym w dwóch grupach: hipoksji i normoksji. W tabeli uwzględniono wskaźniki takie jak wzrost, masa ciała, BMI, procentowa zawartość tkanki tłuszczowej (FATP) oraz masa tkanki tłuszczowej (FATM).

Tabela 9. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników dot. składu ciała

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem treningowym			Pomiar po programie treningowym		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
Hipoksja (<i>n</i> = 10)	wzrost [cm]	183,78	4,15	[180,59; 186,97]	-	-	-
	masa ciała [kg]	85,022	11,069	[76,514; 93,530]	84,656	11,320	[75,954; 93,357]
	BMI	25,167	3,110	[22,776; 27,557]	25,067	3,201	[22,606; 27,527]
	FATP	16,189	5,145	[12,234; 20,144]	16,000	4,817	[12,297; 19,703]
	FATM	14,211	6,400	[9,291; 19,131]	13,967	6,231	[9,177; 18,756]
Normoksja (<i>n</i> = 10)	wzrost [cm]	179,20	4,59	[175,92; 182,48]	-	-	-
	masa ciała [kg]	76,920	8,998	[76,514; 93,530]	77,080	9,126	[70,552; 83,608]
	BMI	23,940	2,414	[22,213; 25,667]	23,980	2,456	[22,223; 25,737]
	FATP	14,490	4,376	[11,359; 17,621]	14,600	4,003	[11,737; 17,463]
	FATM	11,260	3,964	[8,424; 14,096]	11,420	3,882	[8,643; 14,197]

Legenda: BMI – wskaźnik masy ciała, FATP - % zawartość tkanki tłuszczowej, FATM – masa tkanki tłuszczowej, *M* – średnia wartość, *SD* – odchylenie standardowe, 95%*CI* – 95% przedział ufności

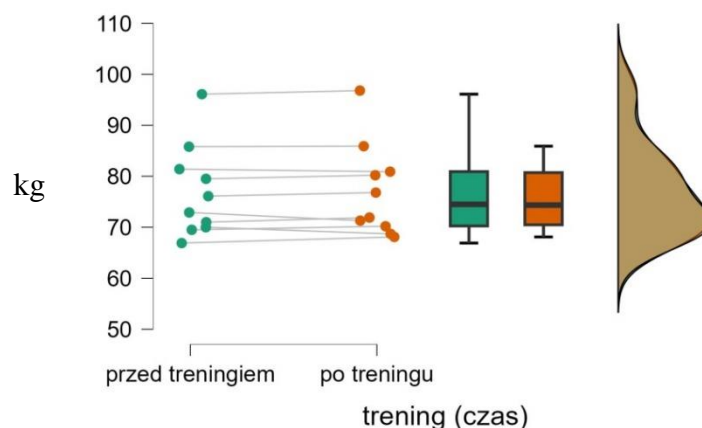
W grupie trenującej w warunkach hipoksji przed programem treningowym średnia masa ciała wynosiła 85,022 kg (SD = 11,069), a po programie nieznacznie spadła do 84,656 kg (SD = 11,320) – Ryc. X. Średnia wartość BMI przed programem wynosiła 25,167 (SD = 3,110), a po programie nieznacznie spadła do 25,067 (SD = 3,201). Z kolei procentowa zawartość tkanki tłuszczowej wynosiła średnio 16,189% (SD = 5,145) przed programem, a po programie zmniejszyła się do 16,000% (SD = 4,817). Masa tkanki tłuszczowej przed programem wynosiła średnio 14,211 kg (SD = 6,400), a po programie zmniejszyła się do 13,967 kg (SD = 6,231).



Ryc. X. Masa ciała zawodników przed treningiem i po treningu w warunkach hipoksji

Natomiast w grupie trenującej w warunkach normoksji przed programem treningowym średnia masa ciała wynosiła 76,920 kg (SD = 8,998), a po programie nieznacznie wzrosła do 77,080 kg (SD = 9,126) – Ryc. XI. Średnia wartość BMI wynosiła 23,940 (SD = 2,414) przed programem, a po programie wzrosła nieznacznie do 23,980 (SD = 2,456). W tym przypadku BMI rozkłady były różne od normalnego w warunku normoksji (przed i po treningu). Jednak wartości kurtozy i skośności tych rozkładów były na granicy akceptowalności. Procentowa zawartość tkanki tłuszczowej przed programem wynosiła średnio 14,490% (SD = 4,376), a po programie wzrosła do 14,600% (SD = 4,003). Masa tkanki tłuszczowej wynosiła średnio 11,260 kg (SD = 3,964) przed programem, a po programie wzrosła do 11,420 kg (SD = 3,882).

Ogólnie rzecz biorąc, w obu grupach odnotowano niewielkie zmiany w składzie ciała po programie treningowym. Grupa hipoksji wykazała tendencję do minimalnego zmniejszenia masy ciała, BMI oraz procentowej zawartości tkanki tłuszczowej, podczas gdy grupa normoksji wykazała nieznaczny wzrost tych wskaźników.



Ryc. XI. Masa ciała zawodników przed treningiem i po treningu w warunkach normoksji

W celu odniesienia się do wpływu warunków realizacji programu treningowego dotyczącego uwzględnionych wskaźników, przeprowadzona została dwuczynnikowa analiza wariancji w schemacie mieszanym: 2 (warunek: hipoksja vs. normoksja) \times 2 (moment pomiaru: przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego). W analizach przyjęty został poziom *alpha* wynoszący 0,05. Miarą wielkości efektu było wskaźnik n_p^2 (w interpretacji wartości n_p^2 odnośnie do wielkości efektu przyjęto: 0,01 – słaby, 0,06 – umiarkowany, ponad 0,14 – silny).

W przypadku żadnego ze wskaźników nie odnotowano istotnych efektów dotyczących warunków prowadzenia treningu (hipoksja vs. normoksja), momentu pomiaru wskaźników (przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego), ani interakcji pomiędzy warunkami prowadzenia treningu i momentem pomiaru. Tabela 10 i Ryc. XII podsumowuje rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym (warunek \times moment pomiaru).

Biorąc pod uwagę masę ciała i warunki treningu wynik ANOVA wykazał, że efekt warunków treningu na masę ciała był nieistotny statystycznie ($F(1, 17) = 2,847$; $p = 0,110$) z umiarkowaną wielkością efektu $n_p^2 = 0,143$). Słabą wielkość efektu $n_p^2 = 0,013$ zanotowano natomiast w momencie pomiaru. Nie stwierdzono istotnej interakcji między warunkami treningu a momentem pomiaru ($F(1, 17) = 1,441$; $p = 0,246$; $n_p^2 = 0,078$)) wskazuje, że oba czynniki nie wpłynęły wspólnie na zmianę masy ciała.

Tabela 10. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie do uwzględnionych wskaźników

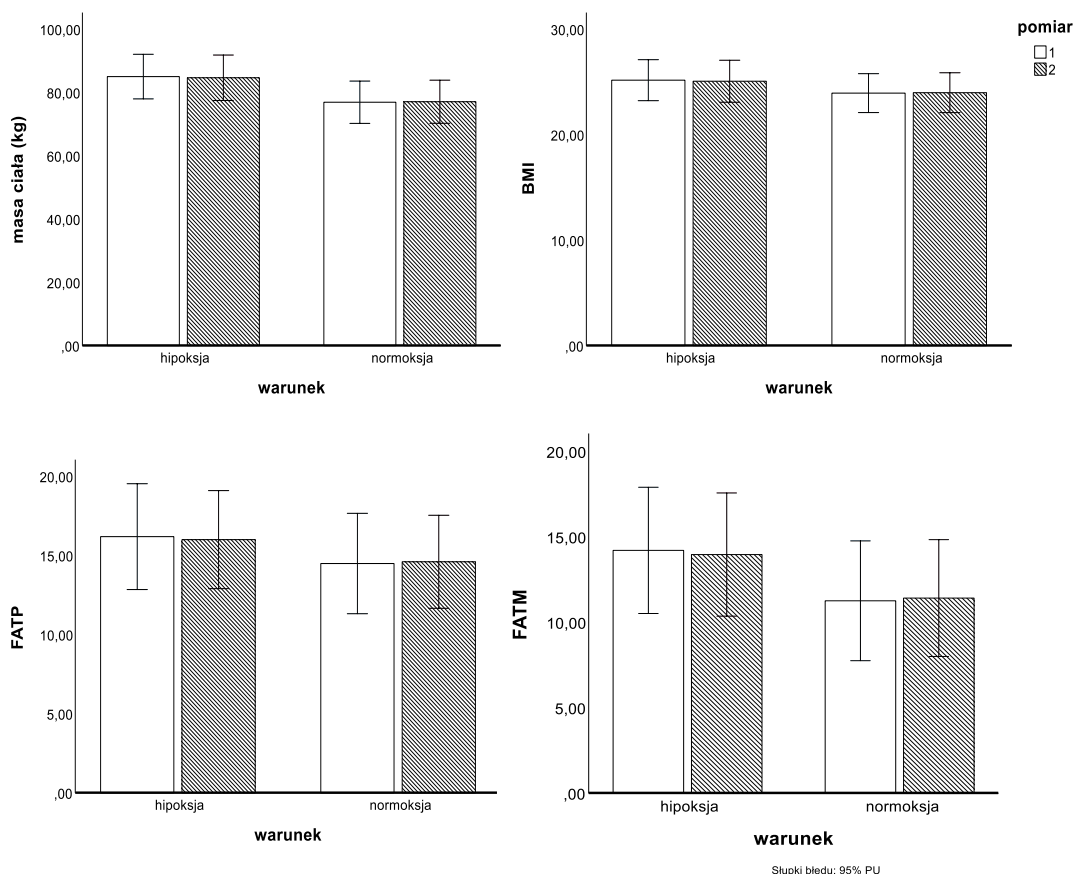
Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
Masa ciała (kg)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 2,847; p = 0,110; \eta^2_p = 0,143$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,222; p = 0,644; \eta^2_p = 0,013$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,441; p = 0,246; \eta^2_p = 0,078$
BMI	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,812; p = 0,380; \eta^2_p = 0,046$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,188; p = 0,670; \eta^2_p = 0,011$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,022; p = 0,326; \eta^2_p = 0,057$
FATP	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,552; p = 0,468; \eta^2_p = 0,031$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,018; p = 0,894; \eta^2_p = 0,001$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,264; p = 0,614; \eta^2_p = 0,015$
FATM	Warunki treningu	$F(1, 17) = 1,343; p = 0,263; \eta^2_p = 0,073$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,032; p = 0,860; \eta^2_p = 0,002$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,738; p = 0,402; \eta^2_p = 0,042$

Legenda:

warunki prowadzenia treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru wskaźników (przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego), interakcja pomiędzy warunkami prowadzenia treningu i momentem pomiaru, BMI – wskaźnik masy ciała, FATP - % zawartość tkanki tłuszczowej, FATM – masa tkanki tłuszczowej, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Uwzględniając masę ciała i warunki treningu wynik ANOVA wykazał, że efekt warunków treningu na BMI okazał się nieistotny ($F(1, 17) = 0,812; p = 0,380$) z niską wielkością efektu $\eta^2_p = 0,046$). Podobnie, moment pomiaru nie miał istotnego wpływu na BMI ($F(1, 17) = 0,188; p = 0,670; \eta^2_p = 0,011$). Interakcja między warunkami treningu a momentem pomiaru również nie była istotna ($F(1, 17) = 1,022; p = 0,326; \eta^2_p = 0,057$).

Nie stwierdzono także istotnego wpływu warunków treningu na FATP ($F(1, 17) = 0,552; p = 0,468$) z niską wielkością efektu $\eta^2_p = 0,031$). Również moment pomiaru nie miał istotnego wpływu na FATP ($F(1, 17) = 0,018; p = 0,894; \eta^2_p = 0,001$). Zatem nieistotna jest interakcja między warunkami treningu a momentem pomiaru ($F(1, 17) = 0,264; p = 0,614; \eta^2_p = 0,015$). Jednocześnie nie był istotny efekt warunków treningu na FATM ($F(1, 17) = 1,343; p = 0,263$) z umiarkowaną wielkością efektu $\eta^2_p = 0,073$). Na FATM nie wpłynął znacząco także moment pomiaru ($F(1, 17) = 0,032; p = 0,860; \eta^2_p = 0,002$). Nie była więc istotna interakcja między warunkami treningu a momentem pomiaru ($F(1, 17) = 0,738; p = 0,402; \eta^2_p = 0,042$).



Uwagi. Pomiar 1 – pomiar przed rozpoczęciem programu treningowego, pomiar 2 – pomiar po zakończeniu programu treningowego.

Ryc. XII. Szacowane średnie brzegowe dotyczące poziomu wskaźników w zależności od warunków prowadzenia programu treningowego oraz momentu pomiaru

Brak istotnych wyników w analizie może wynikać z niedoszacowanej (zbyt małej) próby w badaniu. Możliwe, że gdyby próba była większa część wyników okazałaby się istotna, gdyż wielkość efektu (wskaźnik η^2_p) wygląda obiecująco – np. odnośnie do zmian masy ciała wartość $\eta^2_p = 0,078$, co można interpretować jako umiarkowany efekt.

3.2. Wskaźniki biochemiczne i morfologiczne

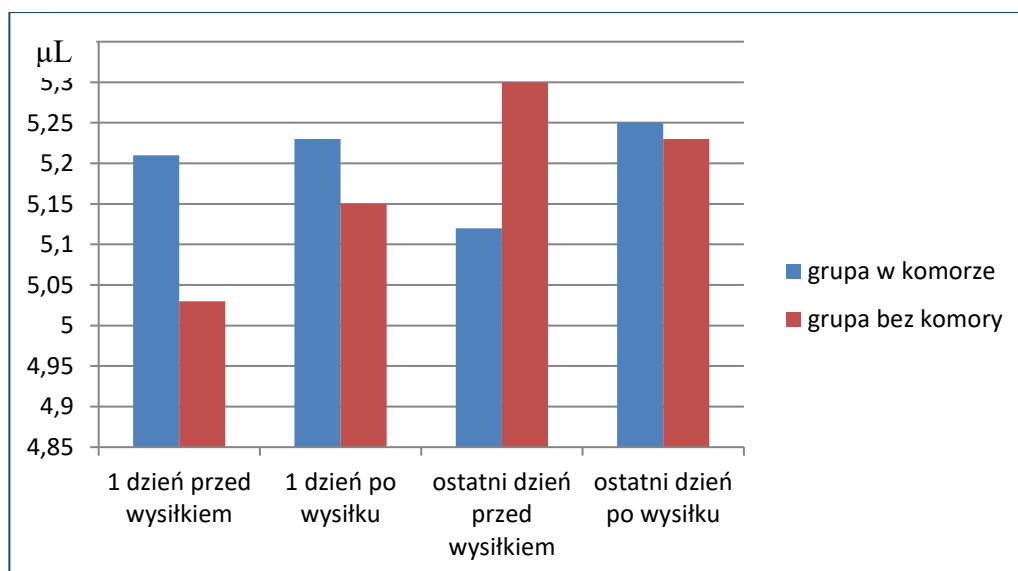
Poziom erytrocytów

Przed podjęciem pierwszego treningu, w grupie sportowców wykonujących treningi w komorze, ilość erytrocytów wynosiła $5,21 \pm 0,09 \times 10^6$ w 1 μ l krwi (Tabela 11). Natomiast w grupie sportowców wykonujących treningi w normalnych warunkach ciśnieniowych, przed podjęciem treningów, ilość erytrocytów wynosiła $5,03 \pm 0,08 \times 10^6$ w 1 μ l krwi. Wartości te nie wykazywały względem siebie różnic statystycznie znamiennej. Bezpośrednio po zakończeniu pierwszego treningu, ilość

erytrocytów w 1 μl krwi, w grupie sportowców ćwiczących w komorze i sportowców ćwiczących w normalnych warunkach ciśnieniowych, wzrastała, ale wzrosty te nie były statystycznie znamienne, nie pojawiły się też różnice statystycznie pomiędzy grupami. Podobnie w ostatnim dniu prowadzonych treningów, nie obserwowano statystycznie znamienych różnic pomiędzy grupami o różnych warunkach ciśnieniowych w trakcie ćwiczeń, ani też pomiędzy wartościami przed i po ćwiczeniach (Tabela 11, Ryc. XIII). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 11. Parametry erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Erytrocyty we krwi($10^6/\mu\text{L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	5,21 \pm 0,09
1 dzień z komorą po wysiłku	5,23 \pm 0,090
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	5,12 \pm 0,08
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	5,25 \pm 0,09
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	5,03 \pm 0,08
1 dzień bez komory po wysiłku	5,15 \pm 0,08
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	5,30 \pm 0,28
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	5,23 \pm 0,10



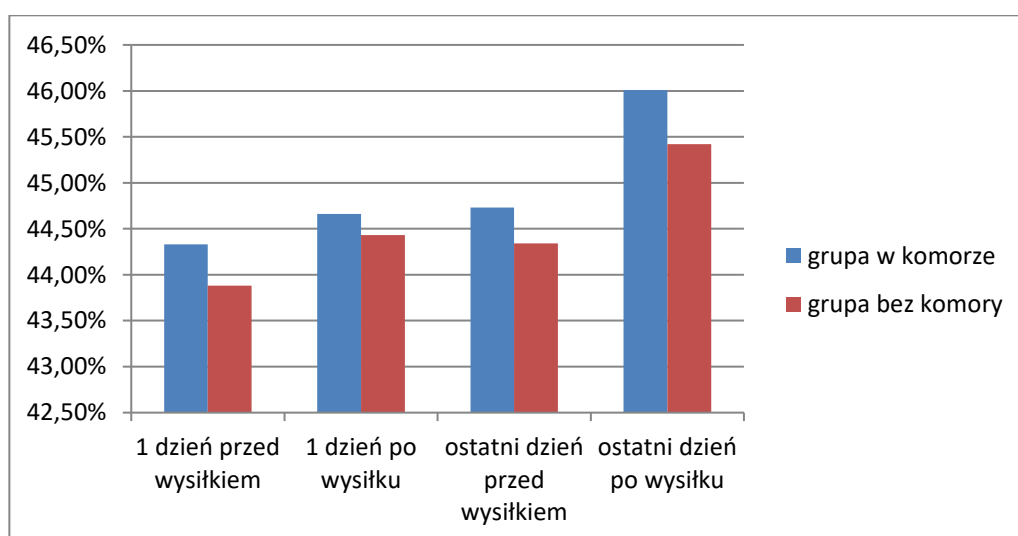
Ryc. XIII. Średnie wartości parametrów erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

Wartość hematokrytu

Hematokryt jest to procentowa objętość elementów upostaciowanych krwi w stosunku do krwi pełnej. Wartości hematokrytu przed rozpoczęciem pierwszego treningu wynosiły $44,33\% \pm 0,51$ i $43,88\% \pm 0,40$, odpowiednio u sportowców trenujących w komorze i w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego (Tabela 12). Różnice pomiędzy tymi wartościami nie wykazywały znamienności statystycznych. Zarówno w pierwszym, jak i ostatnim dniu treningu, po treningu obserwowano niewielki wzrost hematokrytu, ale zmiany te nie wykazywały znamienności statystycznej. Również w ostatnim dniu ćwiczeń nie dochodziło do różnic statystycznych w wartościach hematokrytu pomiędzy sportowcami trenującymi w różnych warunkach ciśnieniowych (Tabela 12 i Ryc. XIV). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 12. Parametry hematokrytu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Hematokryt (%)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$44,33 \pm 0,51$
1 dzień z komorą po wysiłku	$44,66 \pm 0,81$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$44,73 \pm 0,53$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$46,01 \pm 0,72$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$43,88 \pm 0,40$
1 dzień bez komory po wysiłku	$44,43 \pm 0,65$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$44,34 \pm 1,10$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$45,42 \pm 0,98$



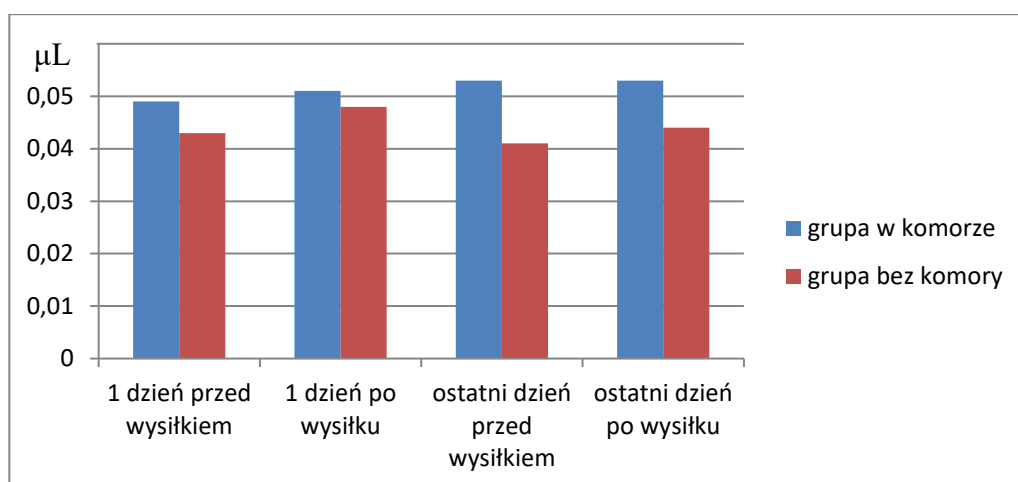
Ryc. XIV. Średnie (%) wartości parametrów hematokrytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

Retykulocyty

Poziom retikulocytów w 1 μl krwi u sportowców przed rozpoczęciem treningów wynosił $0,049 \pm 0,003$ i $0,043 \pm 0,004 \times 10^6$ odpowiednio w grupie trenującej w komorze, i w grupie trenującej w normalnych warunkach ciśnieniowych, co stanowiło odpowiednio (Tabela 13). W stosunku do zawartości erytrocytów te wartości wynosiły odpowiednio 0,94 i 0,85%. Każdorazowo po wysiłku stwierdzano zwiększenie ilości retikulocytów w 1 μl krwi zarówno w grupie sportowców ćwiczących w komorze, jak i grupie ćwiczących w normalnych warunkach ciśnieniowych, ale różnice te nie wykazywały znamienności statystycznej. Stwierdzono też, że w ostatnim dniu treningu ilość retikulocytów w 1 μl krwi u sportowców ćwiczących w komorze jest większa niż u sportowców trenujących w normalnych warunkach ciśnieniowych, ale ten efekt nie wykazywał znamienności statystycznej (Tabela 13, Ryc. XV). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 13. Parametry retikulocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Retikulocyty we krwi ($10^6/\mu\text{L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$0,049 \pm 0,003$
1 dzień z komorą po wysiłku	$0,051 \pm 0,003$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$0,053 \pm 0,003$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$0,053 \pm 0,003$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$0,043 \pm 0,004$
1 dzień bez komory po wysiłku	$0,048 \pm 0,005$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$0,041 \pm 0,004$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$0,044 \pm 0,004$



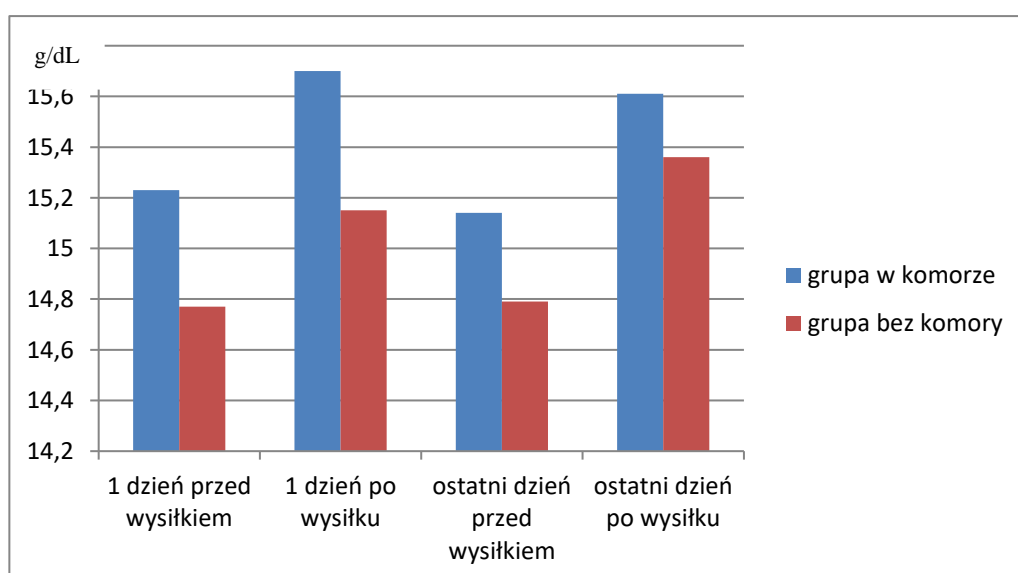
Ryc. XV. Średnie wartości parametrów retikulocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

Hemoglobina

Przed rozpoczęciem treningu, stężenie hemoglobiny wynosiło $15,23 \pm 0,27$ i $14,77 \pm 0,25$ g/100 ml krwi odpowiednio w grupie sportowców trenujących w komorze i w normalnych warunkach ciśnieniowych (Tabela 14). Każdorazowo w obydwóch grupach trenujących sportowców po treningu obserwowano tendencję do wzrost poziomu hemoglobiny we krwi, ale zmiany te nie były statystycznie znamienne. Nie dochodziło też do statystycznie znamiennych różnic w stężeniu hemoglobiny pomiędzy grupami (Tabela 14, Ryc. XVI). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 14. Parametry hemoglobiny dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Hemoglobina we krwi (g/dL)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$15,23 \pm 0,27$
1 dzień z komorą po wysiłku	$15,70 \pm 0,26$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$15,14 \pm 0,26$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$15,61 \pm 0,32$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$14,77 \pm 0,25$
1 dzień bez komory po wysiłku	$15,15 \pm 0,33$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$14,79 \pm 0,46$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$15,36 \pm 0,46$



Ryc. XVI. Średnie wartości parametrów hemoglobiny przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

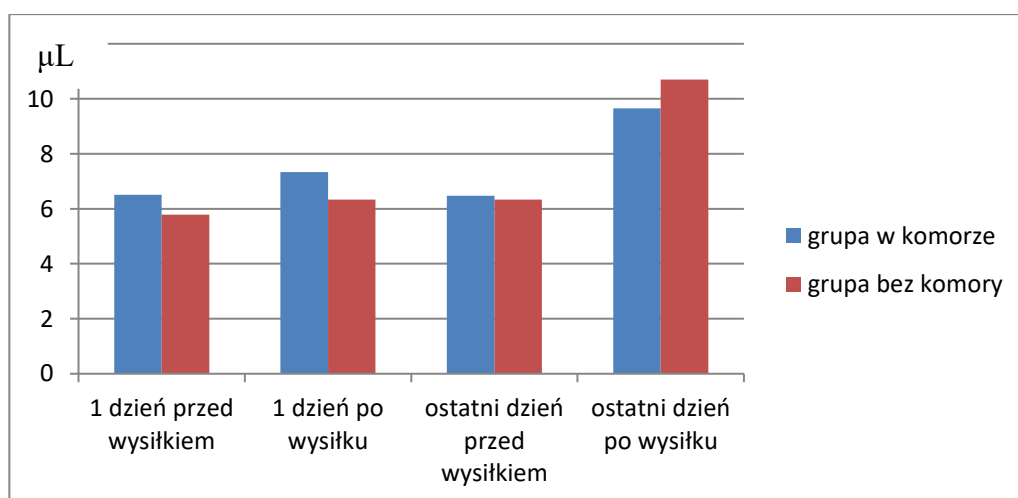
Poziom leukocytów

Przed rozpoczęciem treningów, w grupie trenującej w komorze i w grupie trenującej w normalnych warunkach ciśnieniowych, zawartość leukocytów w 1 μL krwi wynosiła odpowiednio $6,51 \pm 0,60$ i $5,79 \pm 0,56 \times 10^3$ i te wartości nie różniły się w stopniu statystycznie znaczącym (Tabela 15). Każdorazowo, w obydwóch grupach sportowców, po wysiłku obserwowano wzrost ilości leukocytów w 1 μL krwi, ale zmiany te nie osiągały znacząco statystycznej. Różnica statystycznie znacząca obserwowana była jedynie pomiędzy zawartością leukocytów w 1 μL krwi po wysiłku pomiędzy pierwszym i ostatnim dniem badań i efekt ten występował zarówno w grupie trenującej w komorze, jak i w grupie trenującej w normalnych warunkach ciśnieniowych (Tabela 15, Ryc. XVII). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 15. Parametry leukocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Leukocyty we krwi ($10^3/\mu\text{L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$6,51 \pm 0,60$
1 dzień z komorą po wysiłku	$7,33 \pm 0,72$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$6,47 \pm 0,58$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$9,65 \pm 1,55^a$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$5,79 \pm 0,56$
1 dzień bez komory po wysiłku	$6,33 \pm 0,61$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$6,33 \pm 0,39$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$10,70 \pm 0,70^a$

Leukocyty, ^aP <0,05 stosunku do wartości w tej samej grupie w dniu przed wysiłkiem.



Ryc. XVII. Średnie wartości parametrów leukocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

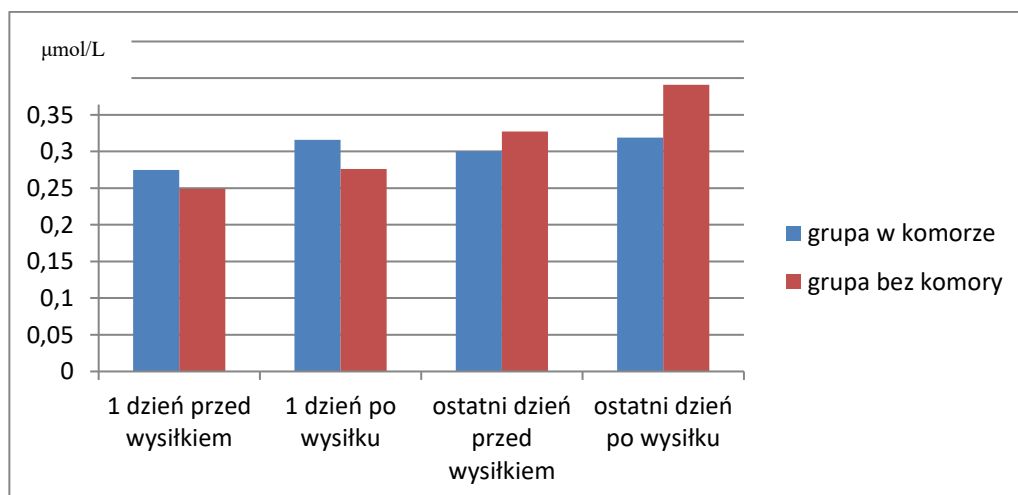
3.3. Wskaźniki równowagi pro-oksydacyjnej

Stężenie glutationu całkowitego w osoczu

Wyjściowe stężenie glutationu całkowitego w osoczu przed rozpoczęciem cyklu treningowego, w grupie sportowców trenujących komorze i w grupie sportowców trenujących w normalnych warunkach ciśnieniowych wynosiło odpowiednio $0,275 \pm 0,015$ i $0,249 \pm 0,019$ $\mu\text{mol/l}$ (Tabela 16). Różnice pomiędzy tymi wartościami są nieistotne statystycznie. Ponadto w każdej grupie i w każdym okresie badań dochodziło do zwiększenia zawartości glutationu całkowitego bezpośrednio po treningu. Jednak ta tendencja nie wykazywała znamienności statystycznej (Tabela 16, Ryc. XVIII). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 16. Parametry glutationu całkowitego dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Glutation całkowity w osoczu ($\mu\text{mol/L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$0,275 \pm 0,015$
1 dzień z komorą po wysiłku	$0,316 \pm 0,011$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$0,300 \pm 0,027$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$0,319 \pm 0,038$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$0,249 \pm 0,019$
1 dzień bez komory po wysiłku	$0,276 \pm 0,017$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$0,327 \pm 0,019$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$0,391 \pm 0,035$



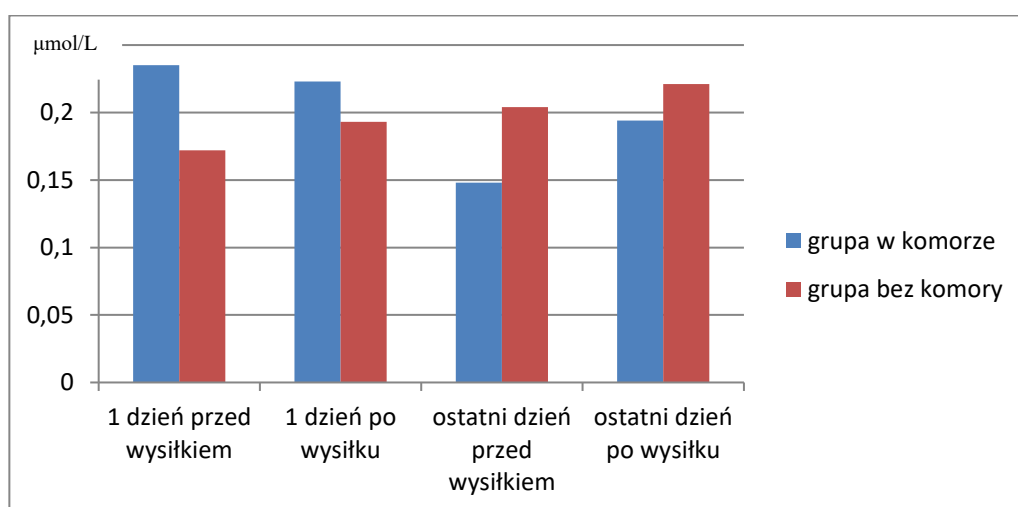
Ryc. XVIII. Średnie wartości parametrów glutationu całkowitego dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

Stężenie glutationu zredukowanego w osoczu

Stężenie glutationu zredukowanego w osoczu w pierwszym dniu treningu w grupie sportowców trenujących w komorze, bezpośrednio po treningu wykazywało tendencje do spadku w stosunku do wartości obserwowanych przed wysiłkiem, ale efekt ten był statystycznie nieznamienności (Tabela 17). Jednak pod koniec cyklu treningowego, stężenie glutationu zredukowanego wykazywało tendencje do wzrostu po wysiłku fizycznym w grupie trenującej w komorze. W przypadku grupy sportowców trenujących w normalnych warunkach ciśnieniowych, stężenie glutationu zredukowanego wzrastało po wysiłku fizycznym zarówno na początku, jak i pod koniec cyklu treningowego. Jednak również te tendencje nie wykazywały znamienności statystycznej (Tabela 17, Ryc. XIX). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 17. Parametry glutationu zredukowanego w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	Glutation zredukowany w osoczu ($\mu\text{mol/L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	0,235 \pm 0,028
1 dzień z komorą po wysiłku	0,223 \pm 0,014
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	0,148 \pm 0,021
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	0,194 \pm 0,013
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	0,172 \pm 0,015
1 dzień bez komory po wysiłku	0,193 \pm 0,021
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	0,204 \pm 0,022
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	0,221 \pm 0,028



Ryc. XIX. Średnie wartości parametrów glutationu zredukowanego w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

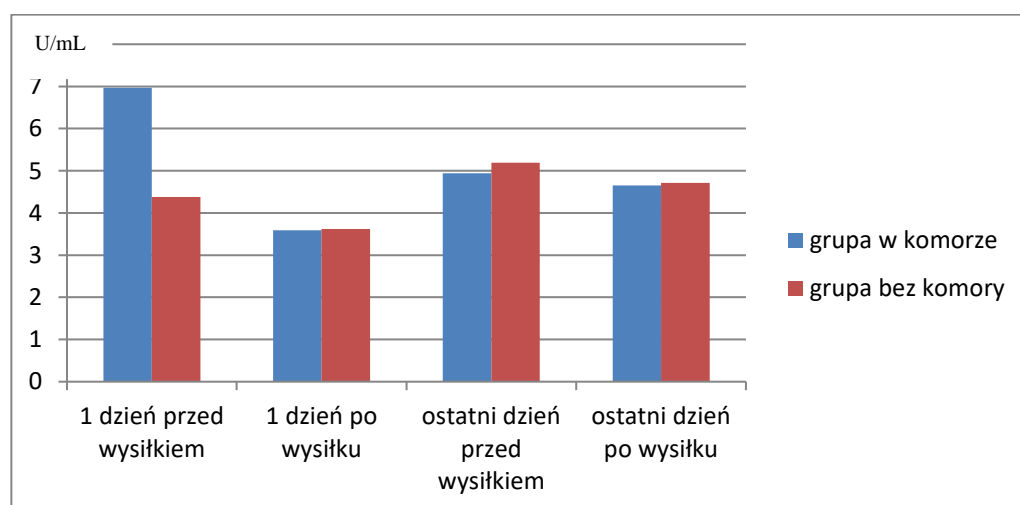
Aktywność dysmutazy ponadtlenkowej (superoxode dismutase - SOD)

Wyjściowa aktywność SOD w osoczu przed rozpoczęciem cyklu treningowego w grupie trenującej w komorze wynosiła $6,97 \pm 1,59$ U/ml, podczas, gdy w grupie trenującej w warunkach normalnego ciśnienia wynosiła $4,38 \pm 0,41$; różnice te jednak nie były statystycznie znamienne (Tabela 18). W czasie każdego dnia treningu aktywność SOD po treningu spadała w stosunku do wartości przed podjęciem ćwiczeń i efekt ten występował w obydwóch grupach i w obydwóch okresach obserwacji, ale jedynie w pierwszym dniu treningu i jedynie w grupie trenującej w komorze, efekt ten był znamieny statystycznie (Tabela 18, Ryc. XX). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 18. Parametry dysmutazy ponadtlenkowej w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

Dysmutaza ponadtlenkowa w osoczu (U/mL)	
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	$6,97 \pm 1,59$
1 dzień z komorą po wysiłku	$3,59 \pm 0,30^b$
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	$4,94 \pm 0,29$
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$4,65 \pm 0,51$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	$4,38 \pm 0,41$
1 dzień bez komory po wysiłku	$3,62 \pm 0,23$
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	$5,19 \pm 0,25$
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$4,71 \pm 0,37$

Dysmutaza ponadtlenkowa, $^bP < 0,05$ w stosunku do wartości przed wysiłkiem w tej samej grupie i dniu badania.



Ryc. XX. Średnie wartości parametrów dysmutazy ponadtlenkowej w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

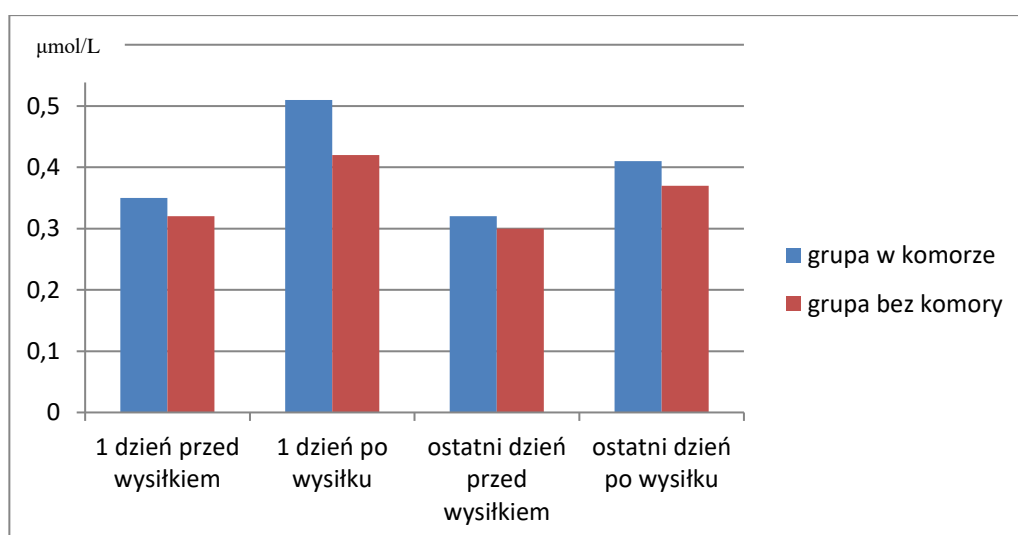
Stężenie dialdehydu molonowego (malondialdehyde – MDA) w osoczu

W pierwszym dniu ćwiczeń zarówno w grupie trenującej w komorze, jak i w grupie sportowców ćwiczących w normalnych warunkach ciśnieniowych stężenie MDA wzrastało statystycznie znamienne po wysiłku (Tabela 19). W ostatnim dniu cyklu treningowego również w obydwóch grupach sportowców dochodziło do wzrostu MDA po wysiłku, ale wzrost ten był znacznie mniejszy niż w pierwszym dniu treningu i nie wykazywał znamienności statystycznej (Tabela 19, Ryc. XXI). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 19. Parametry MDA w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	MDA w osoczu ($\mu\text{mol/L}$)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	0,35 \pm 0,03
1 dzień z komorą po wysiłku	0,51 \pm 0,02 ^c
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	0,32 \pm 0,03
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	0,41 \pm 0,05
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	0,32 \pm 0,02
1 dzień bez komory po wysiłku	0,42 \pm 0,01 ^d
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	0,30 \pm 0,02
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	0,37 \pm 0,03

Stężenie MDA, ^cP<0,05 w stosunku do tej samej grupy i dniu badania przed wysiłkiem.



Ryc. XXI. Średnie wartości parametrów erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

3.4. Wskaźniki badania moczu

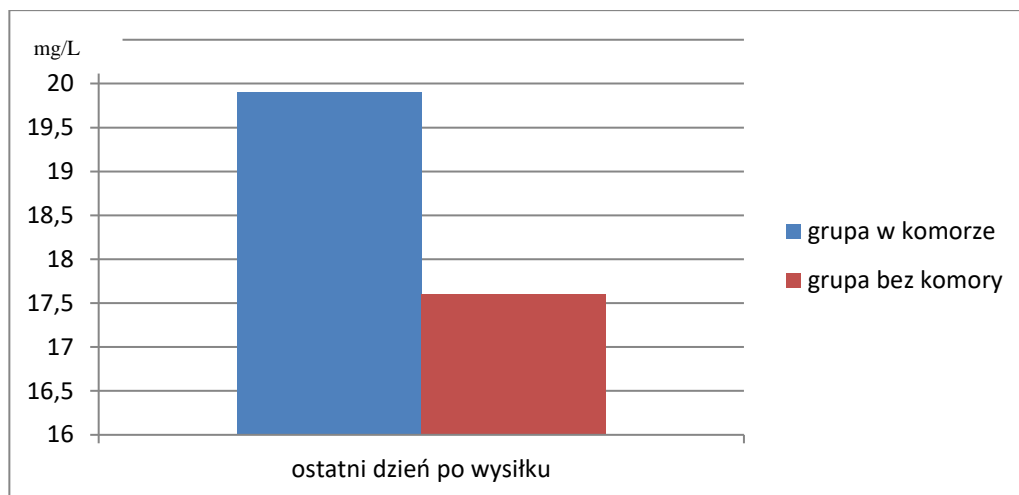
Analiza moczu uzyskanego na początku cyklu treningowego i bezpośrednio po ostatnim dniu treningu nie wykazywała nieprawidłowości u żadnego ze sportowców uczestniczącego w badaniach. W obydwóch grupach uczestników mocz był przejrzysty o barwie żółtej lub bursztynowe. Odczyn moczu był kwaśny, pH mieściło się w zakresie pomiędzy 5,0, a 6,5 (dane nie przedstawione w oddzielnym zestawieniu). Ciężar właściwy zawierał się w zakresie 1,020-1,025. Nie stwierdzono obecności w moczu białka i glukozy. Urobilinogen w normie. W osadzie w polu widzenia występowały jedynie pojedyncze nabłonki płaskie, 1-4 leukocyty, 0-2 erytrocyty oraz pojedyncze bakterie.

Poziom lipokaliny związanej z żelatynazą neutrofilów (NGAL – neutrophil gelatinase-associated lipocalin).

Po ostatnim dniu treningowym wykonano badanie stężenia NGAL w moczu. U sportowców trenujących stężenie w komorze strzeżenia NGAL osiągało wartość $19,9 \pm 1,9$ mg/l (Tabela 45). Natomiast w grupie trenującej w normalnych warunkach ciśnieniowych stężenie NGAL w moczu uzyskiwało wartość $17,6 \pm 1,4$ (Tabela 45, Ryc. XXXI). Wyniki przedstawione w postaci wartości średniej \pm błąd standardowy (mean \pm SEM).

Tabela 20. Parametry NGAL w moczu dzień ostatnim dniu po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

	NGAL w moczu (mg/L)
1 dzień z komorą przed wysiłkiem	
1 dzień z komorą po wysiłku	
Ostatni dzień z komorą przed wysiłkiem	
Ostatni dzień z komorą po wysiłku	$19,9 \pm 1,9$
1 dzień bez komory przed wysiłkiem	
1 dzień bez komory po wysiłku	
Ostatni dzień bez komory przed wysiłkiem	
Ostatni dzień bez komory po wysiłku	$17,6 \pm 1,4$



Ryc. XXII. Średnie wartości parametrów NGAL w ostatnim dniu po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku

3.5. Wskaźniki motoryczne

Tabela 21 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w modelu mieszanym dla czterech wskaźników: skoku w dal z miejsca, podciągania na drążku, skłonów tułowia oraz siły ścisku ręki. Analizowano główne efekty warunku treningowego (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po treningu), jak również interakcję między tymi czynnikami.

Tabela 21. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie do uwzględnionych wskaźników

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
Skok w dal z miejsca	Warunki treningu	$F(1,36) = 1,27; p = 0,260; \eta^2_p = 0,33$
	Moment pomiaru	$F(1,36) = 0,016; p = 0,900; \eta^2_p = 0,0004$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,48; p = 0,492; \eta^2_p = 0,013$
Podciąganie na drążku	Warunki treningu	$F(1, 36) = 0,4678; p = 0,4984; \eta^2_p = 0,012$
	Moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,4075; p = 0,527; \eta^2_p = 0,011$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,0021; p = 0,963; \eta^2_p = 0,00058$
Skłony tułowia	Warunki treningu	$F(1, 36) = 1,0396; p = 0,3147; \eta^2_p = 0,028$
	Moment pomiaru	$F(1, 36) = 2,119; p = 0,1468; \eta^2_p = 0,057$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,0773; p = 0,7825; \eta^2_p = 0,002$
Siła ścisku ręki	Warunki treningu	$F(1, 36) = 0,0087; p = 0,9264; \eta^2_p = 0,00024$
	Moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,0961; p = 0,7583; \eta^2_p = 0,0027$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 36) = 0,0002; p = 0,9902; \eta^2_p = 0,000004$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Skok w dal z miejsca

Dla skoku w dal z miejsca nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy warunkami treningowymi ($F(1, 36) = 1,27$; $p = 0,260$; $\eta^2p = 0,033$). Również moment pomiaru nie miał istotnego wpływu na wyniki ($F(1, 36) = 0,016$; $p = 0,900$; $\eta^2p = 0,0004$). Interakcja warunku treningowego i momentu pomiaru okazała się nieistotna ($F(1, 36) = 0,48$; $p = 0,492$; $\eta^2p = 0,013$).

Podciąganie na drążku

Podobnie, w przypadku podciągania na drążku nie wykazano istotnych różnic między grupami ($F(1, 36) = 0,4678$; $p = 0,4984$; $\eta^2p = 0,012$) ani pomiędzy momentami pomiaru ($F(1, 36) = 0,4075$; $p = 0,527$; $\eta^2p = 0,011$). Interakcja między warunkami treningowymi a momentem pomiaru również nie była statystycznie istotna ($F(1, 36) = 0,0021$; $p = 0,963$; $\eta^2p = 0,00058$).

Sklony tułowia

Dla skłonów tułowia nie zaobserwowano istotnych różnic między warunkami treningowymi ($F(1, 36) = 1,0396$; $p = 0,3147$; $\eta^2p = 0,028$) ani pomiędzy pomiarami przed i po treningu ($F(1, 36) = 2,119$; $p = 0,1468$; $\eta^2p = 0,057$). Interakcja między tymi czynnikami również okazała się nieistotna ($F(1, 36) = 0,0773$; $p = 0,7825$; $\eta^2p = 0,002$).

Siła ścisku ręki

W przypadku siły ścisku ręki nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy warunkami treningowymi ($F(1, 36) = 0,0087$; $p = 0,9264$; $\eta^2p = 0,00024$) ani pomiędzy momentami pomiaru ($F(1, 36) = 0,0961$; $p = 0,7583$; $\eta^2p = 0,0027$). Także interakcja warunku treningowego i momentu pomiaru była nieistotna ($F(1, 36) = 0,0002$; $p = 0,9902$; $\eta^2p = 0,000004$).

W żadnym z analizowanych wskaźników (skok w dal z miejsca, podciąganie na drążku, skłony tułowia, siła ścisku ręki) nie wykazano statystycznie istotnych różnic w efekcie warunku treningowego, momentu pomiaru, ani interakcji między tymi zmiennymi. Wskaźniki wielkości efektu (η^2p) wskazują na bardzo małe efekty we wszystkich przypadkach.

Wyniki przedstawione w tabeli 22 pokazują zmiany w wynikach czterech wskaźników fizycznych (skok w dal z miejsca, podciąganie na drążku, skłony tułowia, siła ścisku ręki) przed i po programie treningowym w dwóch grupach: hipoksji ($n=10$) i normoksji ($n=10$). Podano średnie wyniki (M), odchylenia standardowe (SD) oraz 95% przedziały ufności (95% CI) dla każdej z grup.

Tabela 22. Zmiany w wynikach czterech wskaźników fizycznych przed i po programie treningowym w grupie normoksji i hipoksji

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem			Pomiar po programie		
		treningowym			treningowym		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
Hipoksja (<i>n</i> = 10)	Skok w dal z miejsca	2,377	0,223	[2,217; 2,536]	2,341	0,211	[2,189; 2,492]
	Podciąganie na drążku	14,9	6,522	[10,234; 19,565]	16,4	6,899	[11,464; 21,335]
	Sklony tułowia	27,5	3,240	[25,181; 29,818]	28,8	3,190	[26,517; 31,082]
	Ścisk ręki	54,33	13,256	[44,846; 63,813]	55,40	13,091	[46,038; 64,769]
Normoksja (<i>n</i> = 10)	Skok w dal z miejsca	2,262	0,168	[2,141; 2,382]	2,314	0,194	[2,174; 2,453]
	Podciąganie na drążku	16,5	7,12	[11,405; 21,594]	17,8	7,177	[12,665; 22,934]
	Sklony tułowia	26,1	3,725	[23,435; 28,764]	28	3,464	[25,521; 30,478]
	Ścisk ręki	53,95	8,918	[47,570; 60,329]	55,11	9,687	[48,183; 62,042]

Legenda: *M* – średnia wartość, *SD* – odchylenie standardowe, 95% *CI* – 95% przedział ufności

Wyniki dla grupy hipoksji:

- **Skok w dal z miejsca:** Średnia przed treningiem wyniosła 2,377 m (*SD* = 0,223; 95% *CI* [2,217; 2,536]), a po treningu 2,341 m (*SD* = 0,211; 95% *CI* [2,189; 2,492]), co sugeruje niewielką zmianę.
- **Podciąganie na drążku:** Wyniki przed treningiem to 14,9 powtórzeń (*SD* = 6,522; 95% *CI* [10,234; 19,565]), a po treningu 16,4 powtórzeń (*SD* = 6,899; 95% *CI* [11,464; 21,335]), co wskazuje na umiarkowaną poprawę.
- **Sklony tułowia:** Przed treningiem wyniosły 27,5 powtórzeń (*SD* = 3,240; 95% *CI* [25,181; 29,818]), a po treningu 28,8 powtórzeń (*SD* = 3,190; 95% *CI* [26,517; 31,082]), co sugeruje niewielką poprawę.
- **Siła ścisku ręki:** Przed treningiem wyniosła 54,33 kg (*SD* = 13,256; 95% *CI* [44,846; 63,813]), a po treningu 55,40 kg (*SD* = 13,091; 95% *CI* [46,038; 64,769]), co wskazuje na niewielką poprawę.

Wyniki dla grupy normoksji:

- **Skok w dal z miejsca:** Przed treningiem wyniosło 2,262 m (SD = 0,168; 95% CI [2,141; 2,382]), a po treningu 2,314 m (SD = 0,194; 95% CI [2,174; 2,453]), co sugeruje niewielką poprawę.
- **Podciąganie na drążku:** Wyniki przed treningiem to 16,5 powtórzeń (SD = 7,12; 95% CI [11,405; 21,594]), a po treningu 17,8 powtórzeń (SD = 7,177; 95% CI [12,665; 22,934]), co wskazuje na poprawę.
- **Skłony tułowia:** Przed treningiem wyniosły 26,1 powtórzeń (SD = 3,725; 95% CI [23,435; 28,764]), a po treningu 28,0 powtórzeń (SD = 3,464; 95% CI [25,521; 30,478]), co sugeruje umiarkowaną poprawę.
- **Sila ścisku ręki:** Przed treningiem wyniosła 53,95 kg (SD = 8,918; 95% CI [47,570; 60,329]), a po treningu 55,11 kg (SD = 9,687; 95% CI [48,183; 62,042]), co sugeruje niewielką poprawę.

W obu grupach (hipoksja i normoksja) zaobserwowano niewielkie zmiany w wynikach wskaźników po programie treningowym. Wskaźnik podciągania na drążku oraz skłonów tułowia wykazały większe różnice w obu grupach, co sugeruje, że te ćwiczenia mogły być najbardziej podatne na wpływ treningu, choć zmiany są umiarkowane.

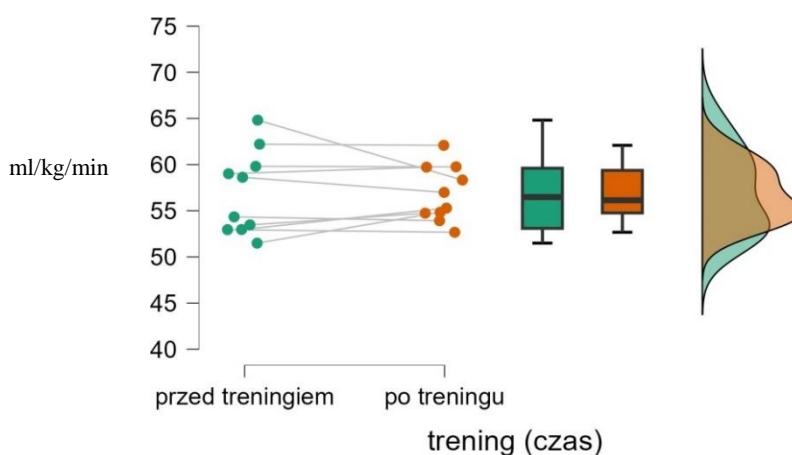
3.6. Poziom wydolności tlenowej

Wyniki pomiarów pokazują, że w przypadku wszystkich trzech wskaźników (czas progu AT, czas progu RC, czas maksymalny) różnice między pomiarami przed i po programie treningowym są nieistotne statystycznie (Tabela 23, Ryc. XXIII). Wartości średnie dla każdego z wskaźników uległy niewielkim zmianom, co sugeruje, że program treningowy w warunkach hipoksji miał marginalny wpływ na te wskaźniki wydolnościowe u badanej grupy.

Tabela 23. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników wydolnościowych przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji z uwzględnieniem czasu

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem treningowym			Pomiar po programie treningowym		
		M	SD	95% CI	M	SD	95% CI
Hipoksja (n = 10)	czas progu AT	,00575	,00053	[,00535; ,00616]	,00569	,00075	[,00511; ,00627]
	czas progu RC	,01036	,00155	[,00917; ,01155]	,01001	,00147	[,00887; ,01114]
	czas max	,01286	,00208	[,01126; ,01446]	,01284	,00226	[,01110; ,01458]
Normoksja (n = 10)	czas progu AT	,00648	,00080	[,00591; ,00706]	,00667	,00061	[,00624; ,00711]
	czas progu RC	,01229	,00142	[,01127; ,01331]	,01251	,00125	[,01162; ,01341]
	czas max	,01551	,00181	[,01421; ,01681]	,01560	,00146	[,01456; ,01664]

Legenda: M – średnia wartość, SD – odchylenie standardowe, 95%CI – 95% przedział ufności



Ryc. XXIII. VO_{2max} (ml/kg/min) w warunkach normoksji i czas treningu

Tabela 24 przedstawia wyniki pomiarów wydolnościowych u dwóch grup sportowców trenowanych w różnych warunkach: hipoksji oraz normoksji. Wskaźniki takie jak prędkość lub moc na progu AT i progu RC oraz maksymalna prędkość/moc zostały zmierzone zarówno przed, jak i po zakończeniu programu treningowego.

Tabela 24. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników wydolnościowych przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji z uwzględnieniem mocy

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem			Pomiar po programie		
		treningowym			treningowym		
		M	SD	95% CI	M	SD	95% CI
Hipoksja (n=10)	dokładna prędkość / moc na progu AT	9,185	,380	[8,893; 9,477]	9,139	,540	[8,724; 9,554]
	dokładna prędkość / moc na progu RC	12,500	1,114	[11,643; 13,357]	12,245	1,062	[11,429; 13,062]
	dokładna prędkość / moc max	14,89	1,537	[13,71; 16,07]	14,78	1,787	[13,40; 16,15]
	dokładna prędkość / moc na progu AT	9,708	,578	[9,295; 10,122]	10,163	,880	[9,533; 10,792]
Normoksja (n=10)	dokładna prędkość / moc na progu RC	13,892	1,026	[13,158; 14,625]	14,371	1,234	[13,488; 15,253]
	dokładna prędkość / moc max	16,70	1,252	[15,80; 17,60]	17,20	1,229	[16,32; 18,08]

Legenda: M – średnia wartość, SD – odchylenie standardowe, 95%CI – 95% przedział ufności

W warunkach hipoksji po zakończeniu programu treningowego zaobserwowano nieznaczne zmniejszenie wartości wskaźników wydolnościowych na progach AT i RC oraz w maksymalnej prędkości/mocy. Zmiany te sugerują, że trening w tych warunkach może nie przynieść oczekiwanej poprawy w tych obszarach, a w niektórych przypadkach może prowadzić do niewielkiej redukcji wydolności.

W przeciwieństwie do grupy trenowanej w hipoksji, grupa trenowana w normoksji wykazała wzrost wartości wskaźników na progach AT i RC oraz w maksymalnej prędkości/mocy po zakończeniu programu. Wskazuje to, że standardowe warunki normoksji mogą być bardziej korzystne dla poprawy tych parametrów wydolnościowych.

Uzyskane wyniki sugerują, że warunki treningowe mogą znacząco wpływać na efekty programów wydolnościowych, a wybór między hipoksją a normoksją powinien być dostosowany do konkretnych celów treningowych.

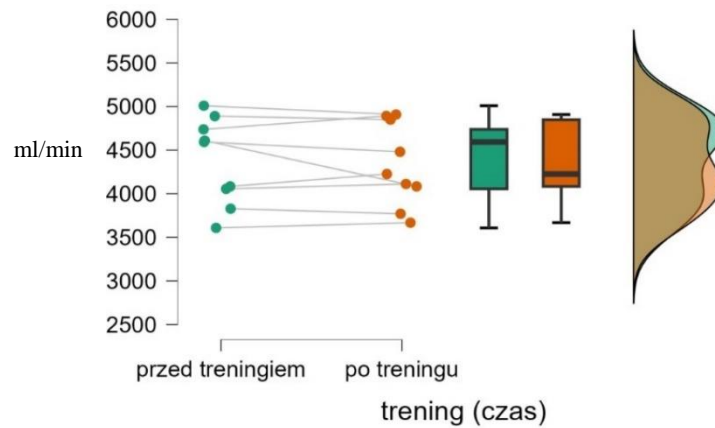
Tabela 25 przedstawia porównanie parametrów wydolnościowych na progu beztlenowym (AT) u sportowców trenowanych w warunkach hipoksji oraz normoksji przed i po programie treningowym. Wskaźniki te obejmują prędkość biegu, pobór tlenu (VO₂) w wartościach relatywnych i absolutnych, tętno, wentylację płuc (VE), częstość oddechów oraz koszt fizjologiczny.

Tabela 25. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wybrane wskaźniki wydolnościowe na progę tlenową u sportowców

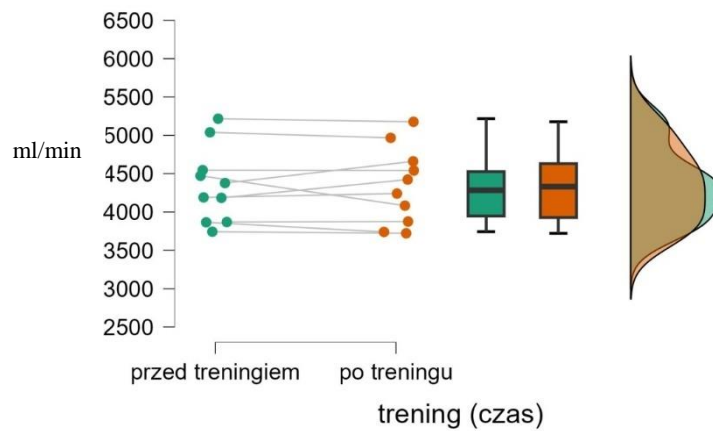
Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem			Pomiar po programie		
		treningowym			treningowym		
		M	SD	95% CI	M	SD	95% CI
Hipoksja (n=10)	próg AT – prędkość biegu	9,67	,500	[9,28; 10,05]	9,56	,527	[9,15; 9,96]
	próg AT – pobór VO ₂ (relatywne)	36,965	3,582	[34,211; 39,719]	36,424	2,646	[34,390; 38,458]
	próg AT – pobór VO ₂ (globalne)	3123,64	459,17	[2770,69; 3476,58]	3051,21	311,25	[2811,97; 3290,46]
	próg AT – tętno	151,33	6,874	[146,05; 156,62]	144,33	13,019	[134,33; 154,34]
	próg AT – wentylacja płuc (VE)	75,028	12,662	[65,295; 84,761]	73,997	6,668	[68,872; 79,123]
	próg AT – częstość oddechów	31,617	6,167	[26,877; 36,358]	30,955	5,062	[27,064; 34,847]
	próg AT – koszt fizjologiczny	258,737	24,027	[240,269; 277,206]	257,413	18,137	[243,472; 271,354]
Normoksja (n=10)	próg AT – pobór VO ₂ (relatywne)	37,732	2,966	[35,610; 39,853]	37,220	2,696	[35,292; 39,149]
	próg AT – pobór VO ₂ (globalne)	2887,15	379,23	[2615,86; 3158,43]	2851,67	429,19	[2544,65; 3158,69]
	próg AT – tętno	149,30	11,605	[141,00; 157,60]	150,30	10,489	[142,80; 157,80]
	próg AT – wentylacja płuc (VE)	77,727	13,135	[68,331; 87,123]	76,338	12,750	[67,218; 85,459]
	próg AT – częstość oddechów	36,242	4,721	[32,864; 39,619]	35,417	8,733	[29,170; 41,664]
	próg AT – koszt fizjologiczny	265,648	21,273	[250,431; 280,866]	262,560	21,026	[243,472; 271,354]

Legenda: M – średnia wartość, SD – odchylenie standardowe, 95%CI – 95% przedział ufności

W obu grupach zaobserwowano niewielkie spadki prędkości na progę AT po programie treningowym, co może sugerować adaptację organizmu do obciążenia treningowego, jednak bez znaczącej poprawy wydolności w tej kategorii. Jednocześnie obie grupy wykazały nieznaczne obniżenie wartości VO₂ (zarówno w ujęciu relatywnym, jak i absolutnym) po zakończeniu programu, co może świadczyć o spadku intensywności wysiłku wymaganego do osiągnięcia progu AT (Ryc. XXIV i Ryc. XXV).

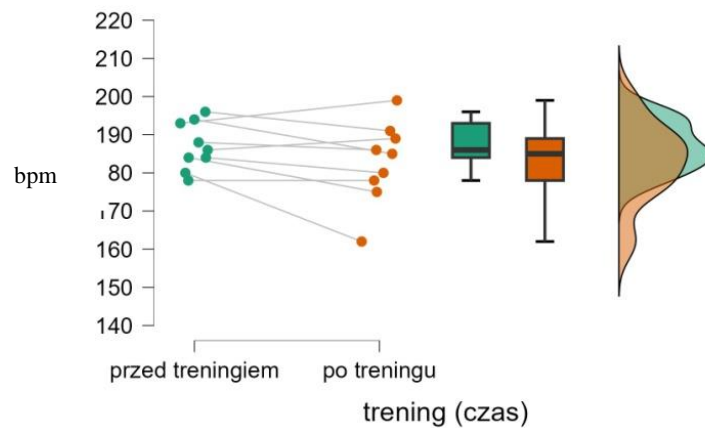


Ryc. XXIV. VO_{2max} (ml/min) w warunkach hipoksji i czas treningu



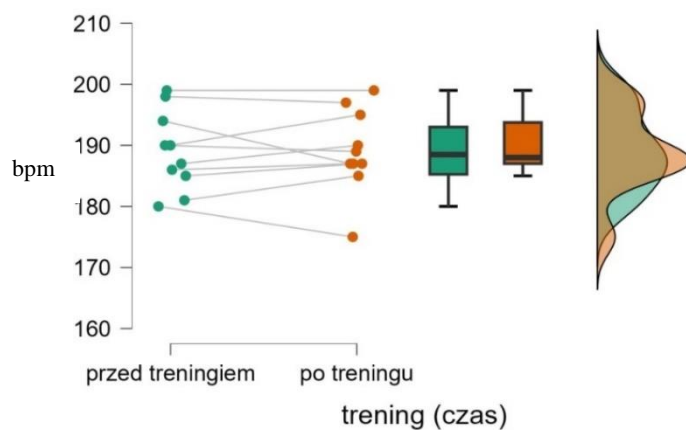
Ryc. XXV. VO_{2max} (ml/min) w warunkach normoksji i czas treningu

W grupie hipoksji nastąpił zauważalny spadek tętna, co może wskazywać na większą efektywność pracy serca po treningu w takich warunkach. W grupie normoksji zmiany były minimalne (Ryc. XXVI i Ryc. XXVII).



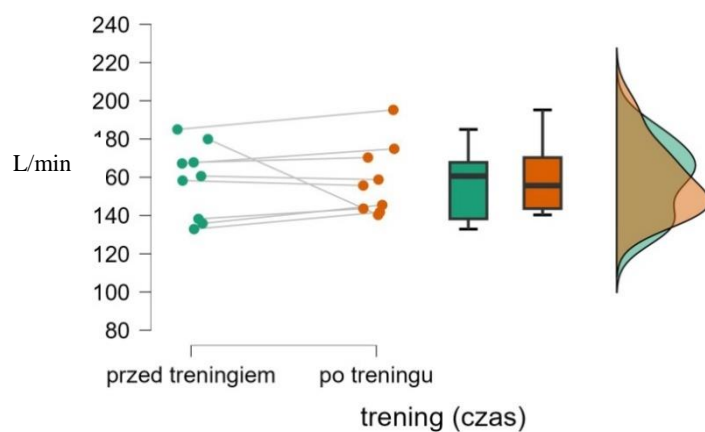
Ryc. XXVI. HR max w warunkach hipoksji i czas treningu

Legenda: bpm – uderzenia na minutę

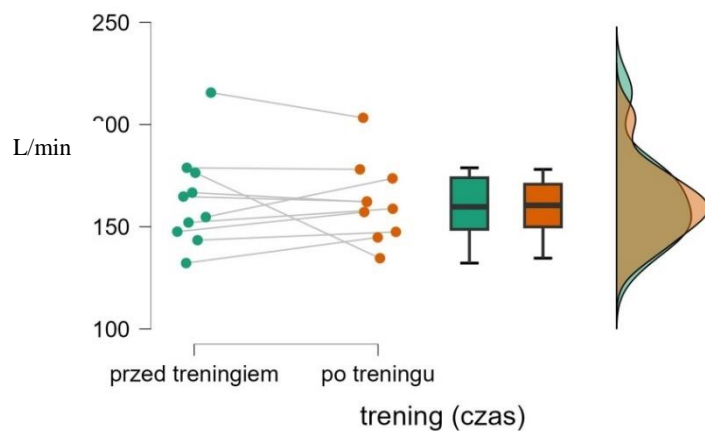


Ryc. XXVII. HR max w warunkach normoksji i czas treningu

W obu grupach zmiany w wentylacji płuc były niewielkie, sugerując stabilność tego wskaźnika po programie treningowym (Ryc. XXVIII i Ryc. XXIX).



Ryc. XXVIII. Wentylacja płuc (L/min) w warunkach hipoksji i czas treningu



Ryc. XXIX. Wentylacja płuc (L/min) w warunkach normoksji i czas treningu

Obie grupy wykazały nieznaczne obniżenie wartości częstotliwości oddechów i kosztu fizjologicznego, co może wskazywać na poprawę ekonomii oddechowej i ogólnej wydolności fizycznej po zakończeniu programu treningowego.

Programy treningowe zarówno w warunkach hipoksji, jak i normoksji, mają zbliżony wpływ na większość wskaźników wydolnościowych mierzonych na progu beztlenowym. Jednak pewne subtelne różnice, takie jak większe obniżenie tętna w grupie hipoksji, mogą sugerować przewagę tego typu treningu w poprawie niektórych parametrów sercowo-naczyniowych.

Tabela 26 prezentuje porównanie parametrów wydolnościowych na progu wentylacyjnym RC u sportowców trenowanych w warunkach hipoksji oraz normoksji przed i po programie treningowym. Wartości te obejmują prędkość biegu, pobór tlenu (VO_2) w wartościach relatywnych i absolutnych, tętno, wentylację płuc (VE), częstość oddechów oraz koszt fizjologiczny.

W warunkach normoksji zaobserwowano niewielki wzrost prędkości biegu RC po programie treningowym, co może sugerować poprawę wydolności biegowej. W grupie hipoksji prędkość nieznacznie spadła. W grupie normoksji wartości VO_2 pozostały prawie niezmiennione po treningu, podczas gdy w grupie hipoksji zaobserwowano nieznaczne obniżenie zarówno w ujęciu relatywnym, jak i absolutnym. Może to sugerować większą efektywność energetyczną po treningu w warunkach hipoksji. Tętno w obu grupach wykazywało tendencję spadkową po programie treningowym, co może świadczyć o poprawie efektywności pracy serca podczas wysiłku. Zanotowano niewielkie zmiany w wentylacji płuc oraz częstości oddechów w obu grupach, sugerując stabilność tych wskaźników po programie treningowym.

W grupie normoksji zaobserwowano niewielki wzrost kosztu fizjologicznego po treningu, co może być związane z większym wysiłkiem potrzebnym do utrzymania wydajności w tych warunkach. W grupie hipoksji wartość ta nieznacznie spadła, co może wskazywać na większą adaptację organizmu do treningu.

Tabela 26. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wskaźniki wydolnościowe na progu wentylacyjnym RC u sportowców

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem			Pomiar po programie		
		treningowym			treningowym		
		M	SD	95% CI	M	SD	95% CI
Hipoksja (n=10)	próg RC – prędkość biegu	12,889	1,167	[11,992; 13,786]	12,667	1,118	[11,807; 13,526]
	próg RC – pobór VO ₂ (relatywne)	47,541	3,470	[44,873; 50,208]	46,573	3,615	[43,794; 49,352]
	próg RC – pobór VO ₂ (globalne)	4008,07	451,225	[3661,22; 4354,91]	3901,49	414,189	[3583,11; 4219,86]
	próg RC – tętno	176,56	4,773	[172,89; 180,22]	171,67	7,550	[165,86; 177,47]
	próg RC – wentylacja płuc (VE)	118,771	14,611	[107,540; 130,002]	115,313	12,813	[105,464; 125,162]
	próg RC – częstość oddechów	44,508	10,288	[36,599; 52,426]	42,663	11,065	[34,158; 51,168]
	próg RC – koszt fizjologiczny	342,841	25,039	[323,593; 362,088]	338,096	26,589	[317,658; 358,534]
Normoksja (n=10)	próg RC – prędkość biegu	14,400	1,174	[13,560; 15,240]	14,800	1,229	[13,921; 15,679]
	próg RC – pobór VO ₂ (relatywne)	50,873	2,713	[48,932; 52,814]	51,026	2,406	[49,305; 52,748]
	próg RC – pobór VO ₂ (globalne)	3885,39	383,903	[3610,77; 4160,02]	3897,14	423,44	[3594,23; 4200,05]
	próg RC – tętno	178,80	5,293	[174,91; 182,49]	179,50	7,075	[174,44; 184,56]
	próg RC – wentylacja płuc (VE)	123,352	10,542	[115,811; 130,893]	125,443	14,135	[115,331; 135,555]
	próg RC – częstość oddechów	48,083	6,811	[43,211; 52,955]	47,395	5,550	[43,425; 51,366]
	próg RC – koszt fizjologiczny	367,470	19,407	[353,588; 381,353]	370,156	16,847	[358,104; 382,208]

Legenda: M – średnia wartość, SD – odchylenie standardowe, 95%CI – 95% przedział ufności

Trening w warunkach normoksji wydaje się nieco bardziej sprzyjać poprawie prędkości biegu na progu RC, natomiast trening w warunkach hipoksji może prowadzić do większej efektywności energetycznej i mniejszego obciążenia

fizjologicznego podczas wysiłku. Ostatecznie, oba rodzaje treningu mają swoje specyficzne korzyści, które mogą być wykorzystywane w zależności od celów treningowych.

Tabela 27 przedstawia wyniki maksymalnych wskaźników wydolnościowych u sportowców, którzy uczestniczyli w programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji. Zawiera ona porównanie takich wskaźników jak prędkość biegu, pobór tlenu (VO_2) w wartościach relatywnych i absolutnych, tętno, wentylacja płuc (VE), częstość oddechów oraz koszt fizjologiczny, zarówno przed, jak i po programie treningowym.

W warunkach normoksji zaobserwowano wzrost maksymalnej prędkości biegu po treningu, co sugeruje poprawę wydolności biegowej. W warunkach hipoksji prędkość nie zmieniła się istotnie. Zarówno w hipoksji, jak i normoksji, nie zaobserwowano istotnych zmian w maksymalnym poborze tlenu (VO_2) po treningu, co może wskazywać na stabilność tej funkcji w obu warunkach. Tętno maksymalne nie uległo znaczącym zmianom po programie treningowym w obu warunkach, co sugeruje, że trening nie wpłynął istotnie na ten parametr. Wentylacja płuc oraz częstość oddechów pozostały na podobnym poziomie po treningu, niezależnie od warunków, co może wskazywać na zachowanie równowagi oddechowej u sportowców. Koszt fizjologiczny pozostał stabilny po treningu w obu grupach, sugerując, że obciążenie fizjologiczne organizmu nie uległo istotnym zmianom.

Program treningowy przyniósł pewne korzyści w zakresie poprawy prędkości biegu w warunkach normoksji, podczas gdy inne wskaźniki, takie jak pobór tlenu, tętno czy koszt fizjologiczny, pozostały stabilne w obu warunkach. Wskazuje to na to, że adaptacja organizmu do warunków hipoksji i normoksji może różnić się w zależności od konkretnego wskaźnika wydolności.

W celu odniesienia się do wpływu warunków realizacji programu treningowego dotyczącego uwzględnionych wskaźników, przeprowadzona została dwuczynnikowa analiza wariancji w schemacie mieszanym: 2 (warunek: hipoksja vs. normoksja) \times 2 (moment pomiaru: przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego). W przypadku wskaźników, gdzie odnotowane zostało złamanie założenia o normalności rozkładów, w analizie różnic pomiędzy pomiarami w każdym z warunków treningu dodatkowo zastosowany został test Wilcoxon dla par obserwacji.

Tabela 27. Zmiany maksymalnych wskaźników wydolnościowych u sportowców w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem			Pomiar po programie		
		treningowym			treningowym		
		M	SD	95% CI	M	SD	95% CI
Hipoksja (n=10)	Max – prędkość biegu	14,889	1,537	[13,708; 16,070]	14,778	1,787	[13,404; 16,152]
	Max – pobór VO ₂ (relatywne)	51,999	4,653	[48,422; 55,576]	51,698	4,093	[48,551; 54,844]
	Max – pobór VO ₂ (globalne)	4378,96	496,855	[3997,04; 4760,87]	4331,66	475,998	[3965,77; 4697,54]
	Max – tętno	187,00	6,285	[182,17; 191,83]	182,78	10,651	[174,59; 190,96]
	Max – wentylacja płuc (VE)	158,420	19,064	[143,766; 173,074]	158,444	18,600	[144,146; 172,741]
	Max – częstość oddechów	57,811	9,812	[50,269; 65,353]	57,812	9,411	[50,578; 65,046]
	Max – koszt fizjologiczny	383,207	36,696	[355,000; 411,415]	383,881	32,107	[359,202; 408,561]
	Max – prędkość biegu	16,700	1,252	[15,805; 17,595]	17,200	1,229	[16,321; 18,079]
Normoksja (n=10)	Max – pobór VO ₂ (relatywne)	56,970	4,539	[53,723; 60,217]	56,834	3,044	[54,656; 59,011]
	Max – pobór VO ₂ (globalne)	4350,24	490,712	[3999,21; 4701,28]	4342,92	502,997	[3983,10; 4702,75]
	Max – tętno	189,00	6,515	[184,34; 193,66]	189,10	6,871	[184,18; 194,02]
	Max – wentylacja płuc (VE)	163,244	23,498	[146,435; 180,054]	162,244	19,403	[148,364; 176,125]
	Max – częstość oddechów	59,639	5,757	[55,521; 63,757]	58,256	5,433	[54,370; 62,142]
	Max – koszt fizjologiczny	420,662	33,993	[396,345; 444,980]	421,272	21,273	[406,055; 436,490]

Legenda: M – średnia wartość, SD – odchylenie standardowe, 95%CI – 95% przedział ufności

W analizach przyjęty został poziom *alpha* wynoszący 0,05. Miarą wielkości efektu był wskaźnik n_p^2 (w interpretacji wartości n_p^2 odnośnie do wielkości efektu przyjęto: 0,01 – słaby, 0,06 – umiarkowany, ponad 0,14 – silny).

Normalność rozkładów została weryfikowana z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka.

Tabela 28 prezentuje wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dotyczącej wpływu warunków treningu (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na czas progu AT, czas progu RC oraz czas maksymalny. Uwzględniono także interakcje między warunkami treningu a momentem pomiaru.

Tabela 28. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na czas progu AT, czas progu RC oraz czas maksymalny

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
czas progu AT	Warunki treningu	$F(1, 17) = 11,317; p = 0,004; \eta^2_p = 0,400$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,118; p = 0,735; \eta^2_p = 0,007$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,480; p = 0,498; \eta^2_p = 0,027$
czas progu RC	Warunki treningu	$F(1, 17) = 12,934; p = 0,002; \eta^2_p = 0,432$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,095; p = 0,761; \eta^2_p = 0,006$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,751; p = 0,203; \eta^2_p = 0,093$
czas max	Warunki treningu	$F(1, 17) = 10,322; p = 0,005; \eta^2_p = 0,378$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,022; p = 0,885; \eta^2_p = 0,001$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,050; p = 0,825; \eta^2_p = 0,003$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Warunki treningu miały istotny wpływ na czas osiągnięcia progu AT ($p = 0,004$; $\eta^2_p = 0,400$), co sugeruje, że jeden z warunków treningowych (prawdopodobnie hipoksja) znacząco wydłużył czas do osiągnięcia tego progu. Zaobserwowano istotny wpływ warunków treningu na czas osiągnięcia progu RC ($p = 0,002$; $\eta^2_p = 0,432$), co wskazuje na znaczący efekt warunków treningowych na wydłużenie tego czasu, podobnie jak w przypadku progu AT. Również warunki treningu miały istotny wpływ na czas maksymalny ($p = 0,005$; $\eta^2_p = 0,378$), co sugeruje, że trening w jednym z warunków (prawdopodobnie hipoksja) znacząco wydłużył czas trwania maksymalnego wysiłku.

Można więc powiedzieć, iż warunki treningowe miały istotny wpływ na wydłużenie czasu osiągnięcia progu AT, progu RC oraz czasu maksymalnego, co sugeruje, że trening w hipoksji mógł przyczynić się do poprawy wytrzymałości u badanych. Moment pomiaru oraz interakcje między warunkami treningu a momentem pomiaru nie miały istotnego wpływu na badane wskaźniki.

Tabela 29 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dotyczącej wpływu warunków treningu (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na dokładną prędkość lub moc na progu AT, prędkość lub moc na progu RC oraz prędkość lub moc podczas maksymalnego wysiłku. Uwzględniono również interakcję między warunkami treningu a momentem pomiaru.

Tabela 29. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na prędkość/moc na progu AT, progu RC oraz na czas maksymalny

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
dokładna prędkość / moc na progu AT	Warunki treningu	$F(1, 17) = 11,737; p = 0,003; \eta^2_p = 0,408$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,273; p = 0,275; \eta^2_p = 0,070$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,916; p = 0,184; \eta^2_p = 0,101$
dokładna prędkość / moc na progu RC	Warunki treningu	$F(1, 17) = 14,058; p = 0,002; \eta^2_p = 0,453$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,303; p = 0,589; \eta^2_p = 0,018$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 3,241; p = 0,090; \eta^2_p = 0,160$
dokładna prędkość / czas max	Warunki treningu	$F(1, 17) = 11,372; p = 0,004; \eta^2_p = 0,401$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,700; p = 0,414; \eta^2_p = 0,040$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,729; p = 0,206; \eta^2_p = 0,092$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Warunki treningu miały istotny wpływ na prędkość lub moc na progu AT ($p = 0,003; \eta^2_p = 0,408$), co sugeruje, że trening w jednym z warunków (prawdopodobnie hipoksja) zwiększył prędkość lub moc na progu AT. Istotny wpływ warunków treningu na prędkość lub moc na progu RC ($p = 0,002; \eta^2_p = 0,453$) wskazuje na znaczący efekt treningu, który podniósł prędkość lub moc na progu RC. Natomiast interakcja między warunkami treningu a momentem pomiaru była bliska istotności ($p = 0,090, \eta^2_p = 0,160$), co może sugerować pewien wpływ, który wymaga dalszych badań.

Warunki treningu miały istotny wpływ na prędkość lub moc podczas maksymalnego wysiłku ($p = 0,004; \eta^2_p = 0,401$), co sugeruje, że trening w hipoksji mógł zwiększyć prędkość lub moc osiąganą podczas maksymalnego wysiłku.

Podsumowując, warunki treningowe miały istotny wpływ na prędkość lub moc na progu AT, progu RC oraz na prędkość lub moc osiąganą podczas maksymalnego wysiłku. Trening w warunkach hipoksji wydaje się przynosić korzyści w zakresie

poprawy tych wskaźników wydolności, co podkreśla potencjał treningu w hipoksji dla poprawy wydolności fizycznej.

Tabela 30 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) oceniającej wpływ warunków treningowych (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na różne wskaźniki fizjologiczne podczas wysiłku na progu AT, takie jak prędkość biegu, pobór tlenu (VO_2), tętno, wentylację płuc (VE), częstość oddechów i koszt fizjologiczny.

Tabela 30. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na wskaźniki fizjologiczne na progu AT

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
próg AT: prędkość biegu	Warunki treningu	$F(1, 17) = 19,642; p < 0,001; \eta^2_p = 0,536$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,910; p = 0,354; \eta^2_p = 0,051$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,246; p = 0,152; \eta^2_p = 0,117$
próg AT: pobór VO_2 (relatywne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,395; p = 0,538; \eta^2_p = 0,023$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,829; p = 0,375; \eta^2_p = 0,046$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,001; p = 0,980; \eta^2_p < 0,001$
próg AT: pobór VO_2 (absolutne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 1,515; p = 0,235; \eta^2_p = 0,082$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,295; p = 0,271; \eta^2_p = 0,071$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,152; p = 0,702; \eta^2_p = 0,009$
próg AT: tętno	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,213; p = 0,651; \eta^2_p = 0,012$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,441; p = 0,246; \eta^2_p = 0,078$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,561; p = 0,128; \eta^2_p = 0,131$
próg AT: wentylacja płuc (VE)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,267; p = 0,612; \eta^2_p = 0,015$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,285; p = 0,600; \eta^2_p = 0,016$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,006; p = 0,938; \eta^2_p < 0,001$
próg AT: częstość oddechów	Warunki treningu	$F(1, 17) = 3,480; p = 0,079; \eta^2_p = 0,170$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,202; p = 0,659; \eta^2_p = 0,012$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,002; p = 0,961; \eta^2_p < 0,001$
próg AT: koszt fizjologiczny	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,467; p = 0,504; \eta^2_p = 0,027$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,284; p = 0,601; \eta^2_p = 0,016$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,045; p = 0,834; \eta^2_p = 0,003$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

W przypadku wskaźników próg AT – prędkość biegu, próg AT – koszt fizjologiczny oraz max – częstość oddechów, ze względu na złamanie założenia o normalności rozkładów, w analizie różnic pomiędzy pomiarami w każdym z warunków treningu dodatkowo zastosowany został test Wilcoxon dla par obserwacji. Odnośnie do wskaźnika próg AT – prędkość biegu nie wystąpiły istotne różnice pomiędzy pomiarami przed i po zakończeniu programu treningowego zarówno w warunkach hipoksji ($Z = -0,577$; $p = 0,564$), jak i normoksji ($Z = -1,406$; $p = 0,160$). Również w przypadku wskaźnika próg AT – koszt fizjologiczny nie odnotowano istotnych różnic pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem w warunkach hipoksji ($Z = -0,059$; $p = 0,953$), ani normoksji ($Z = -0,663$; $p = 0,508$). Poziom wskaźnika max – częstość oddechów nie różnił się pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem w przypadku żadnego z warunków prowadzenia treningu, tj. hipoksji ($Z = -0,178$; $p = 0,859$) i normoksji ($Z = -0,968$; $p = 0,333$).

Tabela 31 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) oceniającej wpływ warunków treningowych (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na różne wskaźniki fizjologiczne podczas wysiłku na progu RC, takie jak prędkość biegu, pobór tlenu (VO_2), tętno, wentylację płuc (VE), częstość oddechów i koszt fizjologiczny.

Jak wskazują dane w Tabeli 31, wystąpił istotny statystycznie efekt interakcyjny o dużej wielkości pomiędzy warunkami badania i momentem pomiaru w przypadku wskaźnika próg RC – pobór VO_2 (absolutne). Porównania parami wykonane w ramach analizy wskazały, że w warunkach hipoksji nastąpił spadek poziomu wskaźnika w pomiarze po zakończeniu programu treningowego w porównaniu z pomiarem przed rozpoczęciem programu ($p = 0,013$), podczas gdy w warunkach normoksji nie pojawiły się różnice w poziomie wskaźnika pomiędzy pomiarami ($p = 0,750$).

Wystąpił istotny statystycznie efekt interakcyjny o dużej wielkości pomiędzy warunkami badania i momentem pomiaru w przypadku wskaźnika próg RC – tętno. Porównania parami wykonane w ramach analizy wskazały, że w warunkach hipoksji nastąpił spadek poziomu wskaźnika w pomiarze po zakończeniu programu treningowego w porównaniu z pomiarem przed rozpoczęciem programu ($p = 0,014$), podczas gdy w warunkach normoksji nie pojawiły się różnice w poziomie wskaźnika pomiędzy pomiarami ($p = 0,644$).

Tabela 31. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na wskaźniki fizjologiczne na progu RC

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
próg RC: prędkość biegu	Warunki treningu	$F(1, 17) = 14,106; p = 0,002; \eta^2_p = 0,453$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,142; p = 0,711; \eta^2_p = 0,008$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,736; p = 0,205; \eta^2_p = 0,093$
próg RC: pobór VO ₂ (relatywne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 8,103; p = 0,011; \eta^2_p = 0,323$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,472; p = 0,242; \eta^2_p = 0,080$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,787; p = 0,113; \eta^2_p = 0,141$
próg RC: pobór VO ₂ (absolutne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,111; p = 0,743; \eta^2_p = 0,007$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 3,234; p = 0,090; \eta^2_p = 0,160$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 5,035; p = 0,038; \eta^2_p = 0,228$
próg RC: tętno	Warunki treningu	$F(1, 17) = 3,662; p = 0,073; \eta^2_p = 0,177$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,734; p = 0,117; \eta^2_p = 0,139$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 5,292; p = 0,034; \eta^2_p = 0,237$
próg RC: wentylacja płuc (VE)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 1,69; p = 0,201; \eta^2_p = 0,094$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,084; p = 0,775; \eta^2_p = 0,005$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,386; p = 0,255; \eta^2_p = 0,075$
próg RC: częstość oddechów	Warunki treningu	$F(1, 17) = 1,182; p = 0,292; \eta^2_p = 0,065$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,515; p = 0,235; \eta^2_p = 0,082$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,316; p = 0,581; \eta^2_p = 0,018$
próg RC: koszt fizjologiczny	Warunki treningu	$F(1, 17) = 8,395; p = 0,010; \eta^2_p = 0,331$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,142; p = 0,711; \eta^2_p = 0,008$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,850; p = 0,192; \eta^2_p = 0,098$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Efekt interakcyjny: warunki prowadzenia treningu \times moment pomiaru nie był istotny odnośnie do poziomu żadnego z pozostałych wskaźników. Jednakże mimo braku istotności, na uwagę zasługuje średnia lub duża wielkość efektu w przypadku następujących wskaźników: czas progu RC, dokładna prędkość / moc na progu AT, dokładna prędkość / moc na progu RC, dokładna prędkość / czas max, próg AT – prędkość biegu, próg AT – tętno; próg RC – prędkość biegu, próg RC – pobór VO₂ (relatywne), próg RC – wentylacja płuc (VE), próg RC – koszt fizjologiczny, max – prędkość biegu, max – tętno.

Tabela 32 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) oceniającej wpływ warunków treningowych (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na maksymalne wskaźniki fizjologiczne podczas wysiłku, takie jak prędkość biegu, pobór tlenu (VO_2), tętno, wentylację płuc (VE), częstość oddechów oraz koszt fizjologiczny.

Tabela 32. Wpływ warunków treningowych i momentu pomiaru na maksymalne wskaźniki fizjologiczne

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
max: prędkość biegu	Warunki treningu	$F(1, 17) = 11,372; p = 0,004; \eta^2_p = 0,401$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,700; p = 0,414; \eta^2_p = 0,040$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 1,729; p = 0,206; \eta^2_p = 0,092$
max: pobór VO_2 (relatywne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 7,921; p = 0,012; \eta^2_p = 0,318$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,136; p = 0,717; \eta^2_p = 0,008$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,019; p = 0,891; \eta^2_p = 0,001$
max: pobór VO_2 (absolutne)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,002; p = 0,969; \eta^2_p < 0,001$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,371; p = 0,551; \eta^2_p = 0,021$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,199; p = 0,662; \eta^2_p = 0,012$
max: tętno	Warunki treningu	$F(1, 17) = 1,587; p = 0,225; \eta^2_p = 0,085$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,504; p = 0,132; \eta^2_p = 0,128$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 2,753; p = 0,115; \eta^2_p = 0,139$
max: wentylacja płuc (VE)	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,255; p = 0,620; \eta^2_p = 0,015$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,017; p = 0,898; \eta^2_p = 0,001$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,019; p = 0,893; \eta^2_p = 0,001$
max: częstość oddechów	Warunki treningu	$F(1, 17) = 0,113; p = 0,741; \eta^2_p = 0,007$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,378; p = 0,547; \eta^2_p = 0,022$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,380; p = 0,546; \eta^2_p = 0,022$
max: koszt fizjologiczny	Warunki treningu	$F(1, 17) = 7,591; p = 0,014; \eta^2_p = 0,309$
	Moment pomiaru	$F(1, 17) = 0,018; p = 0,896; \eta^2_p = 0,001$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 17) < 0,001; p = 0,995; \eta^2_p < 0,001$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Warunki treningu miały istotny wpływ na maksymalną prędkość biegu ($p = 0,004; \eta^2_p = 0,401$), co sugeruje, że trening w jednym z warunków (prawdopodobnie hipoksja) prowadził do znacznego zwiększenia maksymalnej prędkości biegu. Jednocześnie warunki treningowe miały istotny wpływ na maksymalny relatywny pobór VO_2 ($p = 0,012; \eta^2_p = 0,318$), wskazując na poprawę tego wskaźnika w wyniku treningu w jednym z badanych warunków. Istotny wpływ

na maksymalny koszt fizjologiczny ($p = 0,014$; $\eta^2p = 0,309$) miały też warunki treningowe, co wskazuje na różnice w wydatkowaniu energii w zależności od warunków treningu.

Jednak ani warunki treningowe, ani moment pomiaru, ani ich interakcja nie miały istotnego wpływu na maksymalny absolutny pobór VO_2 , co sugeruje brak znaczących zmian w tym wskaźniku w wyniku treningu. Podobnie jak nie wykazano istotnych różnic w zależności od warunków treningowych, momentu pomiaru ani interakcji między tymi czynnikami, co może sugerować, że maksymalne wartości tych wskaźników pozostają stabilne niezależnie od warunków treningu.

Podsumowując, te wyniki testów nieparametrycznych są spójne z wynikami analiz w ramach ANOVA. Pokazują, że w żadnym z warunków prowadzenia treningu nie pojawiły się różnice w poziomie wskaźników pomiędzy pomiarem przed i po zakończeniu programu treningowego.

Efekty główne:

a) różnice międzygrupowe dotyczące podziału ze względu na warunki prowadzenia treningu

Jak wskazują dane w Tabeli 32, odnotowany został istotny efekt główny warunków prowadzenia treningu³ o dużej wielkości (dotyczący różnic międzygrupowych) odnośnie do następujących wskaźników: czas progu AT, czas progu RC, czas max, dokładna prędkość / moc na progu AT, dokładna prędkość / moc na progu RC, dokładna prędkość / czas max, próg AT – prędkość biegu, próg RC – prędkość biegu, próg RC – pobór VO_2 (relatywne), próg RC – koszt fizjologiczny, max – prędkość biegu, max – pobór VO_2 (relatywne), max – koszt fizjologiczny. Odnośnie do zmiennej próg AT – częstość oddechów różnica pomiędzy warunkami była na granicy istotności z efektem o dużej wielkości. W przypadku każdego z wyżej wymienionych wskaźników, poziom był wyższy w warunku normoksji w porównaniu z hipoksją.

b) Różnice pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem (bez uwzględnienia warunków prowadzenia treningu)

W przypadku efektu głównego momentu pomiaru nie zostały odnotowane istotne różnice pomiędzy I i II pomiarem w przypadku żadnej ze zmiennych.

³ Efekt główny „warunków prowadzenia treningu” oznacza, że to jest ogólna różnica pomiędzy grupami; czyli jest to różnica bez uwzględnienia w modelu rozróżnienia dotyczącą momentu pomiaru. Zatem efekt ten nie wskazuje zmian związanych z prowadzeniem treningu, a jedynie generalną różnicę między grupami.

3.7. Wskaźniki powysiłkowe

Tabela 33 przedstawia wyniki stężenia mleczanu (LA) i jego zmian (Δ LA) w trakcie 20-sekundowego wysiłku sprinterskiego, zarówno w warunkach hipoksji, jak i normoksji, uzyskane za pomocą testu Wingate. Zawiera również różnice w stężeniu mleczanu między wynikami uzyskanymi na początku i końcu wysiłku. Wyniki te zostały podane zarówno przed, jak i po zakończeniu programu treningowego.

Tabela 33. Zmiany stężenia mleczanu w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem treningowym			Pomiar po programie treningowym		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
Hipoksja (<i>n</i> = 10)	Δ LA-TS 3-20	4,805	1,689	[3,393; 6,217]	5,644	1,018	[4,793; 6,494]
	LA TS 3"	10,338	1,379	[9,185; 11,490]	10,301	2,834	[7,932; 12,670]
	LA TS 20"	5,533	1,152	[4,569; 6,496]	4,658	2,109	[2,894; 6,421]
	LA WT 3"	13,050	1,385	[11,892; 14,208]	12,350	1,539	[11,063; 13,637]
	LA WT 20"	10,345	1,818	[8,823; 11,865]	9,211	2,441	[7,171; 11,252]
	Δ LA-WT_3-20	2,705	1,804	[1,197; 4,213]	3,139	2,964	[0,661; 5,617]
Normoksja (<i>n</i> = 10)	Δ LA-TS 3-20	5,468	1,314	[4,528; 6,408]	6,506	3,068	[4,312; 8,701]
	LA TS 3"	11,355	1,886	[10,006; 12,705]	9,993	1,984	[8,574; 11,412]
	LA TS 20"	5,887	1,735	[4,646; 7,128]	4,687	1,630	[3,521; 5,853]
	LA WT 3"	12,240	1,586	[11,105; 13,374]	10,212	1,486	[9,149; 11,275]
	LA WT 20"	9,658	2,247	[8,051; 11,266]	7,928	1,822	[6,625; 9,231]
	Δ LA-WT_3-20	2,582	1,590	[1,444; 3,719]	2,284	1,302	[1,353; 3,215]

Legenda: LA - stężenia mleczanu, Δ LA – zmiany w stężeniu mleczanu, *M* – średnia wartość, *SD* – odchylenie standardowe, 95%*CI* – 95% przedział ufności

W warunkach hipoksji obserwuje się wzrost różnicy stężenia mleczanu po treningu (z 4,805 do 5,644 mmol/l). W warunkach normoksji wzrost był jeszcze bardziej wyraźny, z 5,468 do 6,506 mmol/l, co może świadczyć o lepszej tolerancji wysiłku i większej zdolności do gromadzenia mleczanu w organizmie. W obu grupach (hipoksji i normoksji) obserwowano zmniejszenie stężenia mleczanu po 20 sekundach wysiłku po programie treningowym, co wskazuje na poprawę zdolności organizmu do usuwania mleczanu, a tym samym lepszą adaptację do wysiłku anaerobowego. Jednocześnie nastąpiło zmniejszenie maksymalnego stężenia mleczanu (LA WT 20). Wartości te spadły zarówno w grupie hipoksji (z 10,345 do 9,211 mmol/l), jak i w normoksji (z 9,658 do 7,928 mmol/l), co może wskazywać na poprawę efektywności wysiłku oraz mniejsze obciążenie metaboliczne po treningu. Chociaż w obu warunkach nastąpiła poprawa wyników, różnice w adaptacji do wysiłku w normoksji i hipoksji mogą sugerować, że organizmy zawodników w normoksji lepiej tolerują intensywne wysiłki anaerobowe.

Można powiedzieć, iż program treningowy poprawił zdolność zawodników do akumulacji i eliminacji mleczanu zarówno w warunkach hipoksji, jak i normoksji, przy czym większe zmiany obserwowano w warunkach normoksji. To wskazuje na lepszą adaptację do wysiłku oraz poprawę wydolności anaerobowej po zakończonym programie treningowym.

Tabela 34 przedstawia wyniki dotyczące mocy szczytowej, mocy średniej oraz mocy anaerobowej (wyrażonej w W/kg) uzyskane w warunkach hipoksji i normoksji u 10 zawodników w każdej grupie. Dane są przedstawione jako średnie wartości (M) wraz z odchyleniami standardowymi (SD) oraz przedziałami ufności na poziomie 95% (95% CI).

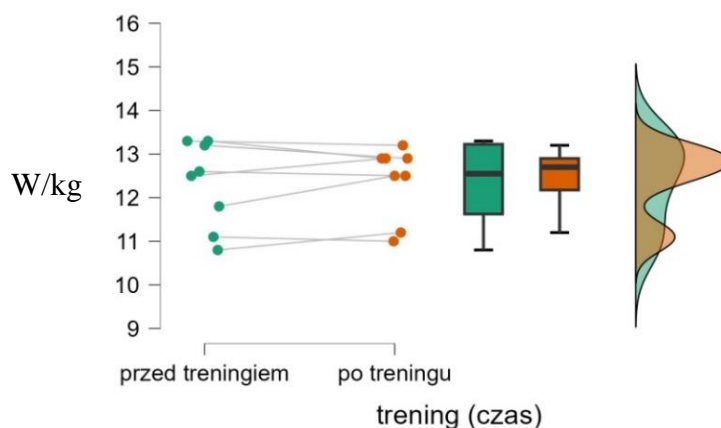
Wyniki (Tabela 34) wskazują, że moc szczytowa była nieznacznie wyższa w warunkach normoksji (1038,13 W) w porównaniu do hipoksji (1012,50 W), jednak różnice nie są znaczące, co sugeruje, że warunki hipoksyiczne nie miały istotnego wpływu na zdolność generowania maksymalnej mocy przez zawodników.

Na Ryc. XXX i Ryc. XXXI przedstawiono statystyki opisowe stosunek mocy szczytowej do masy ciała (W/kg) przed i po treningu w warunkach hipoksji i normoksji.

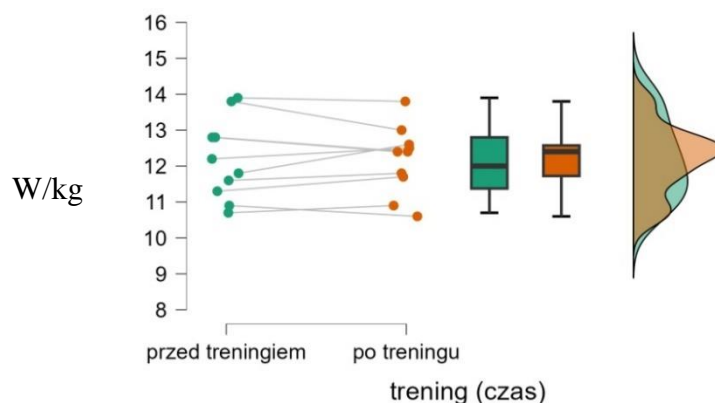
Tabela 34. Porównanie wyników mocy szczytowej, średniej oraz mocy anaerobowej u zawodników w warunkach hipoksji i normoksji

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem treningowym			Pomiar po programie treningowym		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
Hipoksja (<i>n</i> =10)	Moc szczytowa [W]	1012,50	103,11	[926,30; 1098,70]	1038,13	103,20	[951,85; 1124,40]
	Moc średnia [W]	759,175	73,003	[698,14; 820,21]	784,188	66,171	[727,87; 839,51]
	Moc anaerobowa [W/kg]	12,325	0,991	[11,497; 13,154]	12,388	0,829	[11,695; 13,080]
Normoksja (<i>n</i> =10)	Moc szczytowa [W]	941,40	138,40	[842,39; 1040,41]	939,60	138,61	[840,44; 1038,76]
	Moc średnia [W]	715,940	85,495	[654,78; 777,10]	719,990	85,877	[658,56; 781,42]
	Moc anaerobowa [W/kg]	12,180	1,127	[11,374; 12,986]	12,170	0,953	[11,489; 12,852]

Legenda: *M* – średnia wartość, *SD* – odchylenie standardowe, 95%*CI* – 95% przedział ufności

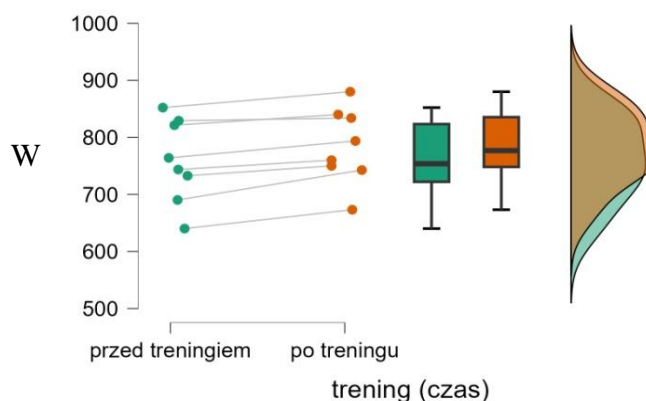


Ryc. XXX. Statystyki opisowe stosunek mocy szczytowej do masy ciała W/kg) przed i po treningu w warunkach hipoksji

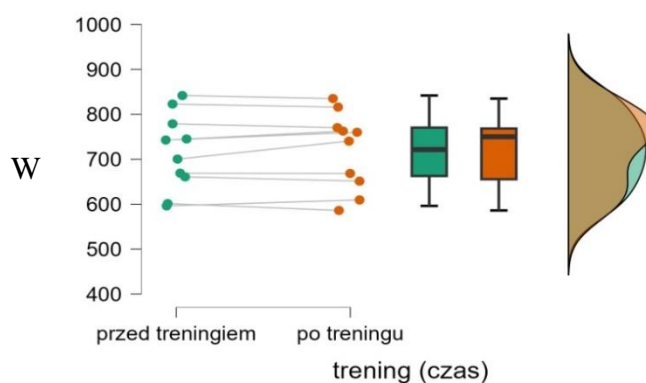


Ryc. XXXI. Statystyki opisowe stosunek mocy szczytowej do masy ciała (W/kg) przed i po treningu w warunkach normoksji

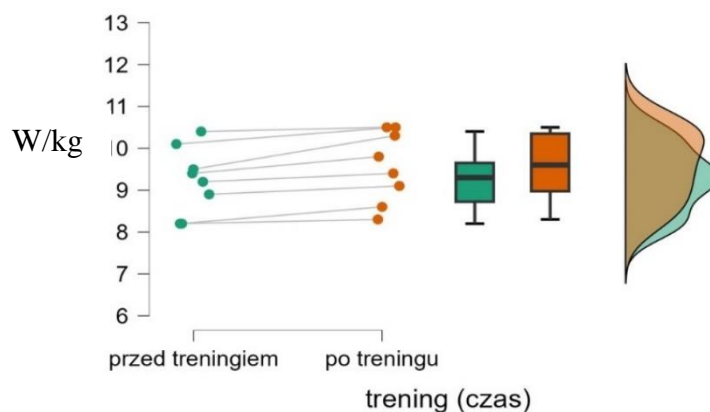
Podobny wzorec obserwuje się w przypadku mocy średniej, która również była nieco wyższa w normoksji (784,188 W) w porównaniu do hipoksji (759,175 W). Wskazuje to, że warunki normoksyiczne mogły nieznacznie sprzyjać lepszemu utrzymaniu mocy podczas wysiłku, chociaż różnice są minimalne (Ryc. XXXII i Ryc. XXXIII). Na Ryc. XXXIV przedstawiono stosunek mocy średniej do masy ciała w warunkach hipoksji przed i po treningu.



Ryc. XXXII. Zależność mocy średniej oraz warunków otoczenia a czas przed treningiem i po treningu w hipoksji



Ryc. XXXIII. Zależność mocy średniej oraz warunków otoczenia a czas przed treningiem i po treningu w normoksji



Ryc. XXXIV. Stosunek mocy średniej do masy ciała w warunkach hipoksji przed i po treningu

Moc anaerobowa wyrażona w W/kg była zbliżona w obu grupach, z wartościami 12,325 W/kg w hipoksji i 12,388 W/kg w normoksji. Wyniki te wskazują, że warunki hipoksyczne nie miały znaczącego wpływu na zdolności anaerobowe zawodników.

Uzyskane wyniki sugerują, że warunki hipoksyczne miały minimalny wpływ na zdolność generowania mocy przez zawodników. Zarówno moc szczytowa, jak i średnia oraz moc anaerobowa były porównywalne między grupami, co może sugerować, że trening w warunkach hipoksji nie znacząco wpływa na te parametry wydolnościowe. Dalsze badania mogą być potrzebne, aby lepiej zrozumieć wpływ hipoksji na inne aspekty wydolności fizycznej.

Tabela 35 przedstawia zmiany w parametrach wydolności anaerobowej, takich jak pojemność anaerobowa, indeks zmęczenia, praca oraz czas uzyskania mocy maksymalnej, u osób poddanych programowi treningowemu w dwóch różnych warunkach: hipoksji (n=10) i normoksji (n=10). Dane uwzględniają średnie wartości (M), odchylenie standardowe (SD) oraz przedziały ufności (95% CI) dla pomiarów wykonanych przed i po zakończeniu programu treningowego.

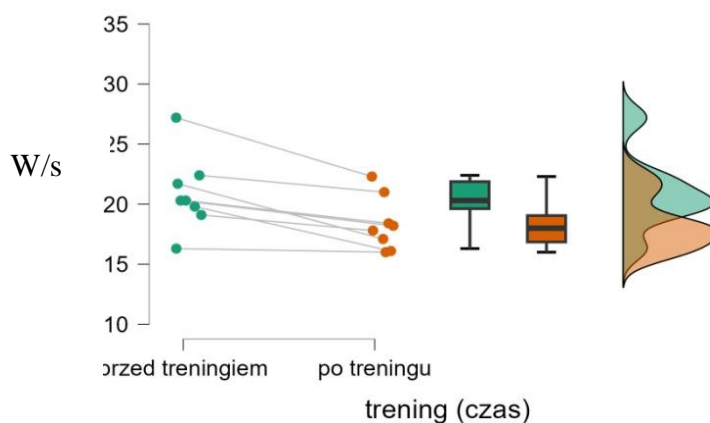
Uzyskane dane wskazują, że zarówno w warunkach hipoksji, jak i normoksji zaobserwowano wzrost pojemności anaerobowej po programie treningowym, jednak wzrost ten był niewielki.

W warunkach hipoksji nastąpiło zmniejszenie indeksu zmęczenia, co może wskazywać na poprawę zdolności do utrzymania wysokiej intensywności wysiłku. W normoksji zmniejszenie to było mniej wyraźne (Ryc. XXXV i Ryc. XXXVI).

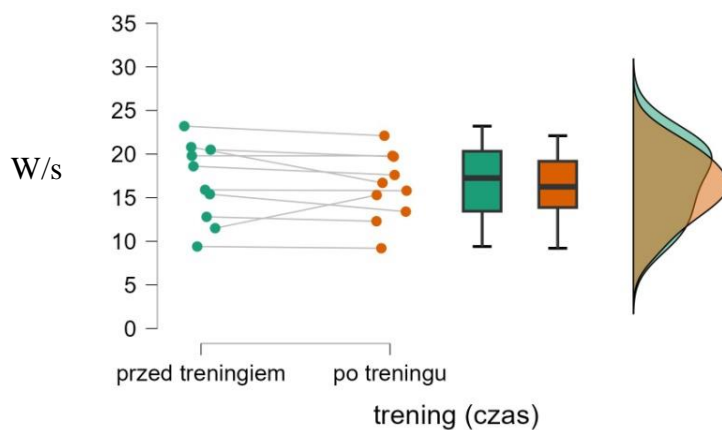
Tabela 35. Porównanie parametrów wydolności anaerobowej przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji

Warunek	Wskaźnik	Pomiar przed programem treningowym			Pomiar po programie treningowym		
		<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	95% <i>CI</i>
Hipoksja (<i>n</i> =10)	przed Pojemność anaerobowa [W/kg]	-	-	-	9,238	0,798	[8,570; 9,905]
	Pojemność anaerobowa [W/kg]	9,238	0,798	[8,570; 9,905]	9,563	0,855	[8,848; 10,277]
	Indeks zmęczenia [W/s]	20,888	3,138	[18,265; 23,511]	18,950	2,273	[17,050; 20,850]
	Praca [kJ]	22,938	2,195	[21,103; 24,773]	23,395	1,813	[21,879; 24,911]
	Czas uzyskania mocy max [s]	4,975	0,819	[4,290; 5,660]	4,663	0,862	[3,942; 5,383]
	przed Pojemność anaerobowa [W/kg]	-	-	-	9,290	0,669	[8,811; 9,769]
Normoksja (<i>n</i> =10)	Pojemność anaerobowa [W/kg]	9,290	0,669	[8,811; 9,769]	9,360	0,693	[8,864; 9,856]
	Indeks zmęczenia [W/s]	16,790	4,528	[13,551; 20,029]	16,190	3,877	[13,417; 18,963]
	Praca [kJ]	21,648	2,585	[19,799; 23,498]	21,812	2,624	[19,935; 23,689]
	Czas uzyskania mocy max [s]	4,240	0,506	[3,878; 4,602]	3,970	0,785	[3,409; 4,531]

Legenda: *M* – średnia wartość, *SD* – odchylenie standardowe, 95%*CI* – 95% przedział ufności

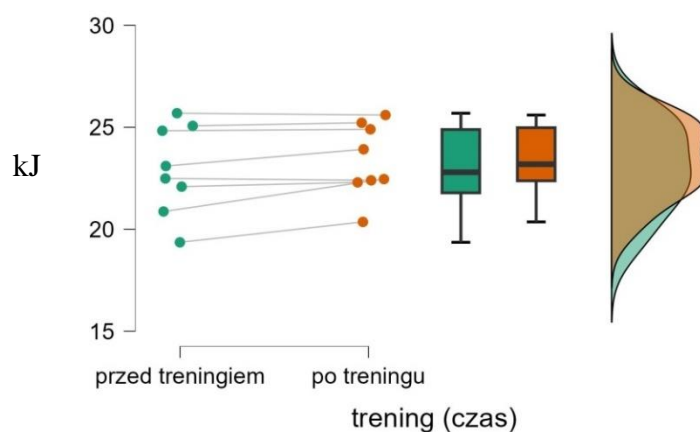


Ryc. XXXV. Indeks zmęczenia warunkach hipoksji a czas treningu

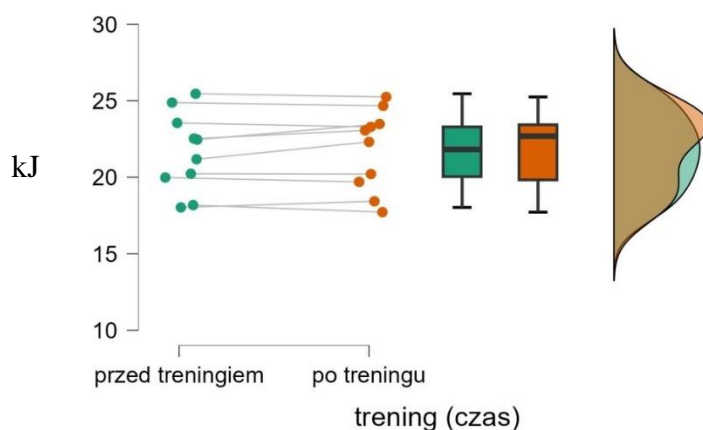


Ryc. XXXVI. Indeks zmęczenia warunkach normoksji a czas treningu

W obu grupach zaobserwowano wzrost wartości pracy, co sugeruje poprawę zdolności do generowania energii w trakcie wysiłku anaerobowego (Ryc. XXXVII i Ryc. XXXVIII).

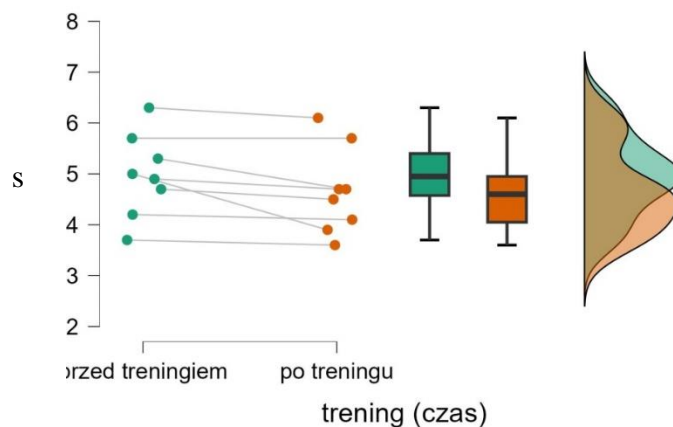


Ryc. XXXVII. Praca (kJ) a hipoksja i czas treningu

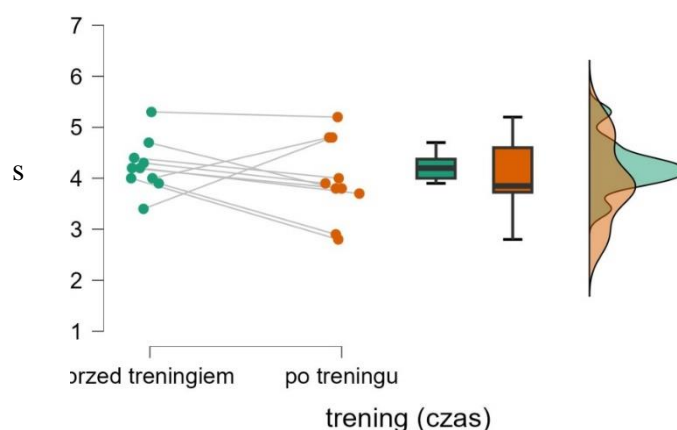


Ryc. XXXVIII. Praca (kJ) a normoksja i czas treningu

W obu warunkach czas uzyskania maksymalnej mocy (s) uległ skróceniu po treningu, co może świadczyć o szybszym osiągnięciu maksymalnej wydolności po zakończeniu programu treningowego (Ryc. XXXIX i Ryc. XL).



Ryc. XXXIX. Czas uzyskania mocy max (s) a hipoksja i czas treningu



Ryc. XL. Czas uzyskania mocy max (s) a hipoksja i czas treningu

Zatem program treningowy w obu warunkach (hipoksji i normoksji) przyniósł pozytywne zmiany w parametrach wydolności anaerobowej, przy czym zmiany te były bardziej wyraźne w warunkach hipoksji.

W celu odniesienia się do wpływu warunków realizacji programu treningowego dotyczącego uwzględnionych w teście Wingate wskaźników, przeprowadzona została dwuczynnikowa analiza wariancji w schemacie mieszanym: 2 (warunek: hipoksja vs. normoksja) × 2 (moment pomiaru: przed rozpoczęciem programu treningowego vs. po zakończeniu programu treningowego). W przypadku wskaźników, gdzie odnotowane zostało złamanie założenia o normalności

rozkładów, w analizie różnic pomiędzy pomiarami w każdym z warunków treningu dodatkowo zastosowany został test Wilcoxon dla par obserwacji.

W przypadku zmiennej przed Pojemność anaerobowa zastosowany został test t dla prób niezależnych.

W analizach przyjęty został poziom α wynoszący 0,05. Miarą wielkości efektu w przypadku dwuczynnikowej analizy wariancji był wskaźnik η_p^2 (w interpretacji wartości η_p^2 odnośnie do wielkości efektu przyjęto: 0,01 – słaby, 0,06 – umiarkowany, ponad 0,14 – silny).

Normalność rozkładów została zweryfikowana z wykorzystaniem testu Shapiro-Wilka.

Tabela 36 podsumowuje rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym (warunek \times moment pomiaru) odnośnie do uwzględnionych wskaźników testu Wingate.

Tabela 36. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie zmiany stężenia mleczanu w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
ΔLA-TS 3-20	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,994; p = 0,334; \eta_p^2 = 0,058$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 2,831; p = 0,112; \eta_p^2 = 0,150$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,032; p = 0,860; \eta_p^2 = 0,002$
LA TS 3"	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,195; p = 0,665; \eta_p^2 = 0,012$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 1,536; p = 0,233; \eta_p^2 = 0,088$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 1,381; p = 0,257; \eta_p^2 = 0,079$
LA TS 20"	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,087; p = 0,772; \eta_p^2 = 0,005$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 4,925; p = 0,041; \eta_p^2 = 0,235$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,121; p = 0,733; \eta_p^2 = 0,007$
LA WT 3"	Warunki treningu	$F(1, 16) = 9,929; p = 0,006; \eta_p^2 = 0,383$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 6,394; p = 0,022; \eta_p^2 = 0,286$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 1,515; p = 0,236; \eta_p^2 = 0,087$
LA WT 20"	Warunki treningu	$F(1, 16) = 2,484; p = 0,135; \eta_p^2 = 0,134$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 3,449; p = 0,082; \eta_p^2 = 0,177$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,150; p = 0,704; \eta_p^2 = 0,009$
ΔLA-WT_3-20	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,833; p = 0,375; \eta_p^2 = 0,050$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,008; p = 0,930; \eta_p^2 = 0,001$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,234; p = 0,635; \eta_p^2 = 0,014$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, LA- stężenia mleczanu, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η_p^2 – wielkość efektu

Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w modelu mieszanym dotyczące zmian stężenia mleczanu (LA) w odpowiedzi na program treningowy w warunkach hipoksji i normoksji wskazują, iż w żadnym przypadku nie zaobserwowano istotnych interakcji między warunkami treningu a momentem pomiaru, co sugeruje, że wpływ programu treningowego na stężenie mleczanu był podobny w obu grupach (hipoksji i normoksji). Istotne różnice związane z warunkami treningu ($p = 0,006$) oraz momentem pomiaru ($p = 0,022$) zaobserwowano jedynie w przypadku wskaźnika LA WT 3. To sugeruje, że warunki treningu oraz moment pomiaru miały znaczący wpływ na stężenie mleczanu mierzonym zaraz po wysiłku.

Stężenie mleczanu po 20 sekundach wysiłku (LA TS 20") było istotnie różne w zależności od momentu pomiaru ($p = 0,041$), co wskazuje na różnice w reakcji organizmu przed i po programie treningowym. W przypadku innych wskaźników nie stwierdzono istotnych różnic ani w warunkach treningu, ani w momencie pomiaru, co sugeruje, że program treningowy nie miał znaczącego wpływu na zmiany stężenia mleczanu w tych pomiarach.

Zatem, choć w większości przypadków nie zaobserwowano istotnych różnic, program treningowy wywarł istotny wpływ na stężenie mleczanu mierzonym zaraz po wysiłku (LA WT 3) oraz 20 sekund po wysiłku (LA TS 20) w zależności od momentu pomiaru.

Tabela 37 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) w modelu mieszanym dotyczącej mocy szczytowej, średniej i anaerobowej w różnych warunkach treningu (hipoksja i normoksja) oraz w różnych momentach pomiaru (przed i po programie treningowym). Dane uwzględniają efekty główne warunków treningu, momentu pomiaru oraz interakcje między tymi czynnikami.

Tabela 37. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na parametry mocy szczytowej, średniej i anaerobowej

Moc szczytowa [W]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 2,103; p = 0,166; \eta^2_p = 0,116$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 2,546; p = 0,130; \eta^2_p = 0,137$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 3,374; p = 0,085; \eta^2_p = 0,174$
Moc średnia [W]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 2,072; p = 0,169; \eta^2_p = 0,115$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 14,505; p = 0,002; \eta^2_p = 0,475$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 7,546; p = 0,014; \eta^2_p = 0,320$
Moc anaerobowa [W/kg]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,157; p = 0,697; \eta^2_p = 0,010$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,063; p = 0,804; \eta^2_p = 0,004$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,121; p = 0,732; \eta^2_p = 0,008$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Jak wskazują dane w Tabeli 37, wystąpił istotny statystycznie efekt interakcyjny o dużej wielkości pomiędzy warunkami treningu i momentem pomiaru w przypadku wskaźnika **moc średnia**. Porównania parami wykonane w ramach analizy wskazały, że w warunkach hipoksji nastąpił wzrost poziomu wskaźnika w pomiarze po zakończeniu programu treningowego w porównaniu z pomiarem przed rozpoczęciem programu ($p < 0,001$), podczas gdy w warunkach normoksji nie pojawiły się różnice w poziomie wskaźnika pomiędzy pomiarami ($p = 0,438$).

Zatem program treningowy wywarł istotny wpływ na moc średnią, szczególnie w interakcji z warunkami treningu, natomiast moc szczytowa i moc anaerobowa pozostały w dużej mierze niezmiennione.

Tabela 38 przedstawia wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji (ANOVA) dotyczącej wpływu warunków treningu (hipoksja vs. normoksja) oraz momentu pomiaru (przed i po programie treningowym) na różne wskaźniki wydolności anaerobowej: pojemność anaerobową, indeks zmęczenia, pracę oraz czas uzyskania mocy maksymalnej. Uwzględniono również interakcję między warunkami treningu a momentem pomiaru.

Tabela 38. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na pojemność anaerobową, indeks zmęczenia, pracę oraz czas uzyskania mocy maksymalnej

Wskaźnik	Efekt	Wyniki ANOVA
Pojemność anaerobowa [W/kg]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 0,046; p = 0,834; \eta^2_p = 0,003$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 13,597; p = 0,002; \eta^2_p = 0,459$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 5,667; p = 0,030; \eta^2_p = 0,262$
Indeks zmęczenia [W/s]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 4,200; p = 0,057; \eta^2_p = 0,208$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 8,568; p = 0,010; \eta^2_p = 0,349$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 2,381; p = 0,142; \eta^2_p = 0,130$
Praca [kJ]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 1,666; p = 0,215; \eta^2_p = 0,094$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 4,950; p = 0,041; \eta^2_p = 0,236$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 1,104; p = 0,309; \eta^2_p = 0,065$
Czas uzyskania mocy max [s]	Warunki treningu	$F(1, 16) = 5,051; p = 0,039; \eta^2_p = 0,240$
	Moment pomiaru	$F(1, 16) = 3,554; p = 0,078; \eta^2_p = 0,182$
	Warunki treningu \times moment pomiaru	$F(1, 16) = 0,019; p = 0,892; \eta^2_p = 0,001$
przed Pojemność anaerobowa [W/kg]	Warunki treningu	$t(16) = -0,152; p = 0,881; d = -0,072$

Legenda: warunki treningu (hipoksja vs. normoksja), moment pomiaru (przed i po treningu), interakcja między warunkami treningu i momentem pomiaru, F – wartość statystyki z analizy ANOVA, p – poziom istotności, η^2_p – wielkość efektu

Wystąpił istotny statystycznie efekt interakcyjny o dużej wielkości pomiędzy warunkami badania i momentem pomiaru w przypadku wskaźnika **pojemność anaerobowa**. Porównania parami wykonane w ramach analizy wskazały, że w warunkach hipoksji nastąpił wzrost poziomu wskaźnika w pomiarze po zakończeniu programu treningowego w porównaniu z pomiarem przed rozpoczęciem programu ($p < 0,001$), podczas gdy w warunkach normoksji nie pojawiły się różnice w poziomie wskaźnika pomiędzy pomiarami ($p = 0,342$).

Efekt interakcyjny: warunki prowadzenia treningu \times moment pomiaru nie był istotny odnośnie do poziomu żadnego z pozostałych wskaźników. Jednakże mimo braku istotności, na uwagę zasługuje średnia lub duża wielkość efektu w przypadku następujących wskaźników: LA TS 3, LA WT 3, moc szczytowa, indeks zmęczenia, praca.

W przypadku wskaźników Δ LA-TS 3-20, LA WT 3, LA WT 20, moc anaerobowa, ze względu na złamanie założenia o normalności rozkładów, w analizie różnic pomiędzy pomiarami w każdym z warunków treningu dodatkowo zastosowany został test Wilcoxon dla par obserwacji. Odnośnie do wskaźnika Δ LA-TS 3-20, nie wystąpiły różnice pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem zarówno w warunku hipoksji ($Z = 1,540$; $p = 0,123$), jak i normoksji ($Z = 0,968$; $p = 0,333$). Podobnie w przypadku zmiennej LA WT 3", nie pojawiły się różnice pomiędzy pomiarami ani w warunkach hipoksji ($Z = -0,700$; $p = 0,484$), ani w warunkach normoksji ($Z = -1,886$; $p = 0,059$). W przypadku wskaźnika LA WT 20" nie wystąpiły różnice w jego poziomie pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem w warunkach hipoksji ($Z = -0,700$; $p = 0,484$), ale w warunkach normoksji poziom był niższy w pierwszym, w porównaniu do drugiego pomiaru ($Z = -1,989$; $p = 0,047$). Odnośnie do wskaźnika moc anaerobowa, nie wystąpiły różnice pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem zarówno w warunkach hipoksji ($Z = 0,283$; $p = 0,777$), jak i normoksji ($Z = -0,154$; $p = 0,878$).

Efekty główne:

a) różnice międzygrupowe dotyczące podziału ze względu na warunki prowadzenia treningu

Jak wskazują dane w Tabeli 38, odnotowany został istotny efekt główny warunków prowadzenia treningu o dużej wielkości (dotyczący różnic międzygrupowych) odnośnie do następujących wskaźników: LA WT 3 i czas uzyskania mocy max. W przypadku obu wymienionych wskaźników, ich poziom był wyższy w warunkach hipoksji w porównaniu z normoksją.

b) Różnice pomiędzy pierwszym i drugim pomiarem (bez uwzględnienia warunków prowadzenia treningu)

W przypadku efektu głównego momentu pomiaru zostały odnotowane istotne różnice (o dużej wielkości) pomiędzy pomiarem przed i po zakończeniu treningu w przypadku następujących zmiennych: LA TS 20, LA WT 3, moc średnia, pojemność anaerobowa, indeks zmęczenia, praca. W przypadku zmiennych: LA TS 20, LA WT 3 oraz indeks zmęczenia ich poziom wyższy był w pierwszym w porównaniu do drugiego pomiaru. W przypadku zmiennych: moc średnia, pojemność anaerobowa oraz praca ich poziom wyższy był w drugim w porównaniu do pierwszego pomiaru.

4. Dyskusja

Boks to sport walki, dyscyplina sportowa polegająca na bezpośredniej walce na pięści dwóch zawodników, według określonych zasad przy ograniczonym polu uderzeń. W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie badaczy tą dyscypliną, jednak niewiele jest badań na ten temat. Część z nich wskazuje na czynniki determinujące zwycięstwo w tym sporcie [Hatmaker i Werner 2004]. Literatura naukowa zawiera dowody, że wiek bokserów, liczba wygranych i przegranych rund oraz osiągnięte wyniki w poprzednich zawodach wywierają znaczący wpływ na wyniki sportowe. Ważna jest także szybkość i kompatybilność ruchów oraz szybkość reakcji psychomotorycznej [Valentino, Esposito i Fabozzo 1990]. Inne badania dotyczą zwłaszcza motoryki bokserów [Blažević, Širić i Matas 2008; Kalac i Gontarev 2014]. Niewiele jest natomiast publikacji, które poświęcone są ocenie wskaźników wydolności beztlenowej bokserów [Hübner-Woźniak Kosmol i Błachnio 2011; Hübner-Woźniak, Lutosławska i Gajewski 2004].

Badania wykazują, iż miejsca zajmowane przez bokserów na światowych amatorskich rankingach boksu znacząco korelują z wskaźnikami maksymalnego zużycia tlenu (VO_2max) oraz wskaźnikami na progu beztlenowym i sprawności fizycznej [Valentino, Esposito i Fabozzo 1990; Guidetti, Musulin i Baldari 2002]. Literatura badawcza sugeruje, że wysoki beztlenowy próg metabolizmu bokserów może wyeliminować zmęczenie podczas walk i pozwala na osiągnięcie większej intensywności treningu i uniknięcie pogarszania się aktywności mięśni. Sprawność bokserów na poziomie mistrzowskim obejmuje ich: specjalną zdolność od pracy, zdolności siłowe i specjalne oraz sprawność techniczną [Hogan i Smith 1994; Chatterjee, Banerjee i Majumdr 2006]. Wszystkie te czynniki są uznawane za wstępne warunki służące do poprawy ich zdolności do pracy oraz osiągnięcia przez nich wysokiej formy sportowej.

Współcześnie konieczne jest stałe monitorowanie ćwiczeń i ich intensywności u każdego sportowca. W przypadku bokserów ważne jest również dokonanie oceny reakcji fizjologicznych na trening. Takiej oceny można dokonać mierząc tętno oraz badając poziom stężenia mleczanu (np. na płatkach uszu). Obciążenia treningowe oblicza się jako iloczyn objętości treningu (efektywnego czasu trwania ćwiczenia) i jego intensywności przy pomocy funkcji rotacji obciążeń w strefach energetycznych oraz informacyjnych [Ambroży 2008].

Każdy sport wymaga prowadzenia treningu w sposób, który zapewnia zawodnikom kompleksowe przygotowanie motoryczne. W boksie jest ono skupione na sile, szybkości, koordynacji i ogólnej sprawności. W dyscyplinie tej brak jest konkretnych wytycznych dotyczących szkolenia, co powoduje, iż ciężko jest stwierdzić, czy zastosowane metody są optymalne do maksymalizacji wydolności wysiłkowej [Arseneau, Mekary i Léger 2011] i osiągnięcia sukcesu sportowego.

Bokser wysokiej klasy dysponuje odpowiednią techniką, taktyką i sprawnością fizyczną. Powinien być przygotowany mentalnie do walki i posiadać wysoką sprawność aerobową. Wszystkie te elementy trzeba wziąć pod uwagę planując program treningów [Arseneau, Mekary i Léger 2011; Chaab 2014]. Duża dynamika wysiłku na ringu, częste zmiany jego intensywności, szybkość zadawania ciosów i szybkość uników są oparte głównie na metabolizmie beztlenowym.

Badaniem objęto sportowców uprawiających boks wyczynowo. Badania te wykonywano na tej grupie po raz pierwszy.

Celem niniejszych badań była ocena wpływu eksperymentalnego programu treningowego, z wykorzystaniem komory hipoksyjnej w okresie przygotowawczym na wybrane zdolności motoryczne, wydolność oraz możliwości adaptacyjne organizmu do stresu oksydacyjnego u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym

4.1. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na somatykę

W boksie konieczne jest posiadanie przez zawodnika zdolności, fizycznych, motorycznych, jak i technicznych pozwalających na osiągnięcie wysokiego poziomu sportowego [Shabb i Nesar 2021].

W badaniach własnych przeprowadzono analizę wyników przy użyciu dwukierunkowej analizy wariancji (ANOVA), aby zbadać wpływ różnych czynników, takich jak czas treningu, rodzaj treningu (hipoksja, normoksja) oraz ich interakcje na wybrane wskaźniki somatyczne: masę ciała i procent tkanki tłuszczowej. Przeprowadzona analiza miała na celu zrozumienie, czy trening w warunkach hipoksji normobarycznej (niskiego poziomu tlenu) w porównaniu do normoksji (normalnego poziomu tlenu) ma istotny wpływ na zmiany w tych wskaźnikach u badanych zawodników.

W badaniach przeprowadzonych na grupach trenujących w warunkach hipoksji i normoksji nie odnotowano istotnych statystycznie różnic w masie ciała, wskaźniku BMI, procentowej zawartości tkanki tłuszczowej (FATP) oraz masie tkanki tłuszczowej (FATM). Po zakończeniu programu treningowego w grupie hipoksji nastąpiło minimalne zmniejszenie tych wskaźników, podczas gdy w grupie normoksji odnotowano ich niewielki wzrost. Wyniki analizy dwuczynnikowej wariancji nie wykazały istotnych efektów warunków treningowych ani momentu pomiaru dla żadnego z uwzględnionych wskaźników (masa ciała, BMI, FATP, FATM). Wartości efektów były z reguły niewielkie lub umiarkowane, co sugeruje, że efekty treningu w hipoksji mogą być subtelne lub że próba badawcza była zbyt mała, by wykazać większe różnice.

Zatem trening w warunkach hipoksji nie spowodował istotnych zmian w składzie ciała zawodników w porównaniu do treningu w normoksji. Chociaż wyniki analizy statystycznej nie wykazały istotnych różnic, warto zauważyć pewne tendencje, takie jak niewielki spadek masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej w grupie hipoksji oraz ich wzrost w grupie normoksji. Brak istotnych statystycznie wyników może być wynikiem małej próby lub krótkiego okresu treningu. Konieczne są dalsze badania z większymi grupami i dłuższym czasem trwania programu treningowego, aby dokładniej zbadać wpływ warunków hipoksji na organizm sportowców.

Liczne badania wskazują, że niski poziom tłuszczu jest preferowany u zawodników sportów walki: w MMA wynosi on 12,25% [Alm and Ji-Guo, 2013], w boksie 14,5% [Guidetti et al., 2002], a w zapasach 7,4% [Demirkan et al., 2015]. Badania Toty i wsp. [2019] przeprowadzone wśród zawodników MMA wskazują, że po 14 tygodniowym programie treningowym u zawodników nastąpił spadek zawartości tłuszczu w organizmie z 13,5% do 10,8%.

Podobne wyniki dotyczące braku istotnych zmian w składzie ciała po treningu w warunkach hipoksji uzyskali Jung i wsp. [2020], badając biegaczy średnio i długodystansowych. Skład ciała zawodników trenujących w hipoksji i normoksji nie wykazał znaczących różnic. Również badania Parka i Lima [2017] na grupie pływaków wyczynowych nie wykazały istotnych różnic w masie ciała po treningu w warunkach hipoksji. Te wyniki sugerują, że adaptacje fizjologiczne do treningu w warunkach hipoksji mogą nie być bezpośrednio związane ze zmianami w składzie

ciała, ale mogą dotyczyć innych parametrów, takich jak wydolność tlenowa czy efektywność metaboliczna.

Liczne badania potwierdzają, że trening w hipoksji przede wszystkim wpływa na wydolność fizyczną, a jego wpływ na skład ciała jest zazwyczaj niewielki lub nieistotny. Badania Bailey'a i wsp. [2000] sugerują, że trening w hipoksji może prowadzić do poprawy parametrów wydolnościowych, ale jego wpływ na skład ciała jest minimalny. Z kolei Vogt i wsp. [2001] przedstawiają adaptacje molekularne mięśni szkieletowych do treningu w warunkach hipoksji. W ich badaniu wpływ hipoksji na skład ciała był niewielki, natomiast wyraźnie poprawiła się wydolność aerobowa. Millet i wsp. [2010] sugerują, że efekty wpływu hipoksji na masę ciała mogą być bardziej widoczne przy dłuższym jej stosowaniu w połączeniu z odpowiednią dietą. Badanie Brocherie i wsp. [2017] analizuje, jak trening interwałowy w hipoksji wpływa na ekonomikę biegu, mechanikę ruchu oraz wydolność. Chociaż głównym celem badania była wydolność, autorzy zauważyli, że skład ciała nie zmienił się istotnie po treningu w hipoksji. Badanie Bonetti i Hopkinsa [2009] zbiera wyniki różnych badań dotyczących adaptacji do hipoksji i jej wpływu na wydolność oraz skład ciała. Meta-analiza pokazuje, że wpływ na masę ciała jest nieznaczny, ale trening w hipoksji może poprawiać wskaźniki wydolności fizycznej.

4.2. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wskaźniki biochemiczne i morfologiczne oraz równowagę prooksydacyjną

Tlen z płuc do tkanek jest przenoszony przez krew, a główną formą transportu tlenu jest jego przenoszenie w formie związanej z hemoglobina [Traczyk i Trzebski 2001]. W normalnych warunkach tlen związany z hemoglobina stanowi ok. 99% tlenu przenieszonego przez krew. Przenieszenie tlenu z płuc do tkanek jest wynikiem współdziałania układu oddechowego i układu krążenia, a także prawidłowa zawartość hemoglobiny we krwi tak aby tlen mógł efektywnie być przenoszony do narządów ciała. Warunkiem prawidłowego utleniania hemoglobiny w płucach jest odpowiednie ciśnienie tlenu w pęcherzykach płucnych. W normalnych warunkach ciśnieniowych ciśnienie gazów na poziomie morza wynosi 760 mm Hg (1013 hPa czyli 1 atm). Tlen stanowi 21% gazów znajdujących się w atmosferze. W związku z tym przy ciśnieniu atmosferycznym wynoszącym 760 mm Hg ciśnienie parcjalne

tlenu w atmosferze wynosi ok. 159 mm Hg. Tlen jest transportowany z atmosfery do komórek ustroju zgodnie z gradientem ciśnień, od ciśnienia większego do ciśnienia mniejszego. W warunkach prawidłowego ciśnienia atmosferycznego, ciśnienie tlenu w pęcherzykach płucnych wynosi ok. 100 mmHg [Traczyk i Trzebski 2001]. Takie ciśnienie tlenu w pęcherzykach płucnych pozwala na uzyskanie na drodze dyfuzji takiego samego ciśnienia tlenu w kapilarach płucnych, co prowadzi do 100% wysycenia hemoglobiny tlenem. Krew tętnicza odpływająca z kapilar płucnych żyłami płucnymi, a następnie tętnicami somatycznymi zawiera ok. 20 ml tlenu/100 ml krwi. Następnie tlen jest transportowany w połączeniu z hemoglobina poprzez tętnice somatyczne do kapilar tkankowych, gdzie tlen przechodzi ze światła kapilar do płynu tkankowego. Jedynie naczynia kapilarne są naczyniami wymiany gazowej. W warunkach spoczynkowych ciśnienie tlenu w płynie tkankowym wynosi 40 mm Hg. Tlen z kapilar przechodzi na drodze dyfuzji aż do wyrównania gradientu ciśnień parcjalnych. Dlatego w odpływającej z kapilar narządowych krwi żyłnej ciśnienie tlenu wynosi ok. 40 mm Hg a zawartość tlenu w tej krwi wynosi ok. 15 ml tlenu/100 ml krwi. Tak więc średnio w warunkach spoczynkowych z każdych 100 ml krwi docierającej do tkanek jest im oddawane 5 ml tlenu. Transport tlenu z płuc do tkanek zależy też od wydolności układu krążenia. W warunkach spoczynkowych pojemność minutowa serca, czyli ilość krwi jaką serce tłoczy w ciągu minuty wynosi ok 5 litrów [Traczyk i Trzebski 2001]. To powoduje, że w warunkach spoczynkowych w ciągu minuty jest transportowane z płuc do tkanek ok. 250 ml tlenu (pojemność minutowa 5 l \times 5 ml tlenu oddawane przez każde 100 ml krwi) [Górski 2015].

W czasie wysiłku wzrasta zapotrzebowanie organizmu na tlen i dlatego też pojemność minutowa serca wzrasta wraz ze wzrostem wielkości wysiłku fizycznego. Maksymalnie u osoby dorosłej, wydolnej krążeniowo pojemność minutowa może wzrastać do wartości 20-25 litrów na minutę, a u sportowców o dużym wroście i wytrenowaniu fizycznym może osiągać nawet 30-35 litrów na minutę. W wysiłku dochodzi też do spadku ciśnienia parcjalnego tlenu w tkankach, co powoduje, że ilość tlenu oddawanego przez każde 100 ml krwi dopływającej do tkanek może wrastać do wartości 15 ml tlenu/100 ml krwi. To powoduje, że tak zwany pułap tlenowy, czyli maksymalna ilość tlenu jak może być transportowana z płuc do tkanek może osiągnąć wartość około 3750 ml tlenu/minutę.

Jak zostało przedstawione powyżej transport tlenu z płuc do tkanek zależy między innymi od zawartości hemoglobiny we krwi [Traczyk i Trzebski 2001]. W przypadku niedotlenienia nerek dochodzi do uwalniania przez ten narząd erytropoetyny, hormonu stymulującego w szpiku kostnym erytropoezę, czy tworzenie erytrocytów. Zwiększenie ilości erytrocytów we krwi powoduje zwiększenie ilości hemoglobiny, co prowadzi do zwiększonej możliwości transportu tlenu przez krew. To natomiast zwiększa wydolność fizyczną ustroju. Oczywiście należy pamiętać, że nadmierny wzrost ilości erytrocytów, poza zakres prawidłowych wartości zaburza mechanizmy homeostaticzne ustroju i może prowadzić do patologii. może prowadzić do patologii takiej jak zwiększona lepkość krwi, zaburzenie przepływu krwi z możliwością aktywacji układu krzepnięcia, jak też na skutek zwiększenia oporów przepływu wzrost obciążenia serca, które może prowadzić do jego niedotlenienia i zawału serca.

Oddychanie gazami o obniżonym ciśnieniu powoduje, że ciśnienie parcjalne tlenu w pęcherzykach maleje, co następnie powoduje spadek ciśnienie parcjalnego tlenu w kapilarach płucnych i zmniejszenie wysycenia tlenem hemoglobiny. Natomiast zmniejszenie wysycenia hemoglobiny tlenem powoduje, że mniej tlenu jest przenoszone do tkanek, co prowadzi do niedotlenienia tkanek, w tym nerek i pobudzenia wydzielania erytopoetyny pobudzającej produkcję i uwalnianie erytrocytów ze szpiku kostnego. Należy jednak stwierdzić, że ten mechanizm podlega stępieniu przez endogenne mechanizmy kompensacyjne. Spadek ciśnienia parcjalnego tlenu wzmaga wentylację płuc, czyli zwiększa wymianę powietrza pomiędzy atmosferą, a pęcherzykami płucnymi. Ten mechanizm zmniejsza różnicę ciśnień parcjalnych tlenu pomiędzy powietrzem znajdującym się poza organizmem, a ciśnieniem tlenu w pęcherzykach płucnych. Mechanizm ten zwiększa ciśnienie tlenu w pęcherzykach i poprawia utlenowanie hemoglobiny, zwiększając jej zdolności transportowe do przenoszenia tlenu do tkanek. Drugim ważnym mechanizmem kompensacyjnym w stanach obniżonego ciśnienia parcjalnego w pęcherzykach jest zwiększenie pojemności minutowej serca, co powoduje zwiększenie pojemności dyfuzyjnej dla tlenu w płucach, jak też zwiększa przepływ krwi przez narządu, co również powoduje zwiększenie ilości tlenu do narządach.

W przeprowadzonych badaniach, sportowcy trenujący w komorze oddychali powietrzem o zmniejszonym ciśnieniu parcjalnym tlenu, co prowadziło do zmniejszonego zaopatrzenia tkanek, w tym nerek w tlen. Jednak procedura ta nie

prowadziła do znamiennego statystycznie zwiększenia ilości erytrocytów we krwi obwodowej jak też poziomu hematokrytu, czy też stężenia hemoglobiny lub ilości retikulocytów. Ten brak takich wzrostów należałoby tłumaczyć mechanizmami kompensacyjnym przedstawionymi powyżej, jak też faktem, że w treningach uczestniczyli bokserzy klasy mistrzowskiej. Uczestniczyli więc oni już wcześniej w ciągłych treningach, co spowodowało, że już wyjściowo mieli wysoki poziom erytrocytów we krwi i pochodnych parametrów takich jak hematokryt, poziom hemoglobiny i ilość retikulocytów we krwi obwodowej. Ponadto charakter treningu nie polegał na długotrwałych wysiłkach, lecz maksymalnych krótkotrwałych wysiłkach występujących naprzemiennie z okresami odpoczynku. Dlatego stopień niedotlenienia nerek w trakcie tych wysiłków był umiarkowany i prawdopodobnie nie dochodziło do dużej stymulacji uwalniania erytropoetyny, a co za tym idzie nie dochodziło też do dużego pobudzenia erytropoezy. Poziom retulocytozy osiągał wartości zbliżone do 1%, co jest typowe dla wartości erytropoezy w warunkach spoczynkowych. Ze względu na charakter wysiłku podobne efekty jak w grupie trenującej w komorze były obserwowane w grupie sportowców trenujących w normalnego ciśnienia parcjalnego gazów. Nie występowały pomiędzy tymi grupami znamienne statystycznie różnice w ilości erytrocytów w 1 μ l krwi, poziomie retikulocytozy, stężenia hemoglobiny, czy hematokrytu.

Wartości wyjściowej ilość leukocytów w 1 μ l krwi nie wykazywała pomiędzy grupami sportowców biorących udział w treningach statystycznie znamienych różnic. Z drugiej strony zarówno w pierwszym dniu treningu, jak i w ostatnim dniu treningu dochodziło w obydwóch grupach sportowców do zwiększania się poziomu leukocytów bezpośrednio po treningu. W ostatnim dniu treningu ta tendencja była znamienna statystycznie w obydwóch grupach sportowców, zarówno w grupie ćwiczącej w komorze, jak i grupie ćwiczącej w normalnych warunkach ciśnieniowych gazów oddechowych. Efekt ten jest zgodny z wcześniejszymi obserwacjami, że wysiłek fizyczny prowadzi do leukocytozy, czyli wzrostu poziomu leukocytów w jednostce objętości krwi [McCarthy i wsp. Perry; McCarthy i Dale 1998]. Wcześniejsze badania wskazują, że poziom leukocytozy jest wprost proporcjonalny do intensywności wysiłku, jak też stresu emocjonalnego [Henning i wsp. 2000]. Obserwacje te sugerują, że w trakcie trwania cyklu treningów, sportowcy w nich uczestniczący wykazywali się coraz większym zaangażowaniem w ich uczestnictwie, zarówno pod względem fizycznego wysiłku, jak

i zaangażowania emocjonalnego. Wśród mechanizmów odpowiedzialnych za powysiłkowa leukocytozę należałoby też wymienić zmniejszenie objętości krwi krążącej na skutek utraty wody z potem i wydychanym powietrzem, jak też zwiększenie retencji wody w pracujących mięśniach szkieletowych. Takie zmniejszenie objętości krwi krążącej powoduje, że przy tej samej totalnej ilości leukocytów we krwi krążącej, ilość leukocytów przypadających na jednostkę objętości krwi ulega zmniejszeniu.

Wyniki badań własnych sugerują, że trening w warunkach hipoksji może wpływać na pewne aspekty zdolności motorycznych i wydolność. W przypadku zmian w częstości skurczów serca (HR max), obserwowane niewielkie zmiany nie były istotnie statystyczne między grupami trenującymi w warunkach hipoksji i normoksji. Pomimo tego, warto zauważyć pewne tendencje. U zawodników trenujących w hipoksji zaobserwowano niewielką tendencję spadkową w HR max po treningu, podczas gdy u tych trenujących w normoksji zauważono niewielki wzrost. Niemniej jednak, brak istotności statystycznej sugeruje, że wpływ treningu w warunkach hipoksji na tę zmienną może być ograniczony. Zdolność zawodników do zatrzymania oddechu zależy od sprawności serca i jest synonimiczna z częstością akcji serca. Inne wyniki uzyskał Shabb i Nesar [2021]. Wskazują one, że rozwój zdolności funkcjonalnych u zawodników trenujących w warunkach hipoksji normobarycznej dał pozytywny efekt stosowania takiego treningu u bokserów na poziomie mistrzowskim. Rozwój zdolności funkcjonalnych pozytywnie wpłynął na rozwój umiejętności bokserskich.

Analiza wentylacji płuc (VE) również nie wykazała istotnych różnic między grupami trenującymi w różnych warunkach. W przypadku zmian w wentylacji płuc po treningu, ponownie nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic między grupą trenującą w hipoksji a tą trenującą w normoksji. Niemniej jednak, wartości średnie sugerują pewne zmiany w obu grupach, co może sugerować pewne tendencje, ale ich znaczenie pozostaje ograniczone ze względu na brak istotności statystycznej.

Analiza danych nie wykazała znaczących różnic między grupami trenującymi w warunkach hipoksji a normoksji w kontekście adaptacyjności organizmu. Nie zaobserwowano istotnych zmian w zdolnościach motorycznych ani w wydolności między tymi dwoma grupami, co sugeruje, że trening w warunkach hipoksji nie wywołał znaczących adaptacji organizmu w tych badanych parametrach.

Przeprowadzone badanie ma pewne ograniczenia. Z jednej strony liczba badanych zawodników była stosunkowo niewielka, co może wpłynąć na zdolność wykrywania istotnych różnic między grupami, z drugiej inne czynniki, takie jak indywidualne różnice w reakcji organizmu na trening, mogły również wpłynąć na uzyskane wyniki.

Na podstawie danych uzyskanych w trakcie badania można stwierdzić, że wpływ treningu w warunkach hipoksji na badane zmienne zdolności motorycznych, wydolności tlenowej i beztlenowej oraz adaptacyjności organizmu bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym jest ograniczony. Brak istotnych różnic między grupą trenującą w hipoksji a grupą trenującą w normoksji sugeruje, że w analizowanych warunkach nie zaobserwowano znaczącego wpływu hipoksji na badane parametry.

Uzyskane wyniki sugerują, że jeśli celem jest poprawa zdolności motorycznych i wydolności u bokserów na poziomie mistrzowskim krajowym, sam trening w warunkach hipoksji może nie przynieść znaczących korzyści w porównaniu do treningu w warunkach normoksji. Zaleca się dalsze badania w celu lepszego zrozumienia potencjalnych korzyści i ograniczeń treningu w warunkach hipoksji dla tego typu sportowców.

Biorąc pod uwagę reakcje fizjologiczne na ćwiczenia fizyczne w warunkach hipoksji, ćwiczenia IHT wydają się być preferowaną formą treningu LL-TH. Bonetti, Hopkins i Kilding [2006] sugerują, iż takie ćwiczenia powodują wzrost erytrocytów lub hemoglobiny, ale wydaje się to mało prawdopodobne ze względu na krótki czas ćwiczeń w niedotlenieniu. Mogą one natomiast wynikać ze zwiększonej aktywności enzymów glikolitycznych i nasilenia reakcji buforowania w miocytach [Czuba i wsp. 2011; Czuba i wsp. 2013; Dufour i wsp. 2006; Zoll i wsp. 2006] albo być wynikiem obniżenia kosztu energetycznego wysiłku [Katayama i wsp. 2003; Katayama i wsp. 2004]. Taka odpowiedź organizmu wpływa na wzrost wytrzymałości co przedkłada się na sprawność aerobową [Bonetti i wsp. 2006; Czuba i wsp. 2011; Czuba i wsp. 2013; Katayama i wsp. 2003; Katayama i wsp. 2004]. Badania przeprowadzone przez Ashenden i współpracowników [1999] nie wykazały wzrostu hemoglobiny u sportowców wytrzymałościowych przebywających na symulowanej wysokości 3000 m przez 23 dni, co jest zgodne z wcześniejszymi wynikami badań tej grupy. Inne badania prowadzone przez Levine i Stray-Gundersena [1997], sugerują wzrost masy erytrocytów u sportowców przebywających na wysokości i poprawę

wydolności tlenowej (VO_{2max}), co skutkowało lepszymi wynikami biegowymi. Badanie McLeana i wsp. [2006] sugeruje, że hipoksja była wystarczająca do stymulacji wzrostu produkcji i uwalniania erytropoetyny, jednak czas ekspozycji na hipoksję był niewystarczający, aby wywołać pełną kaskadę erytropoetyczną. W badaniach Ashenden i wsp. [1999] nie zaobserwowano wzrostu produkcji retikulocytów ani zmian w parametrach retikulocytów w żadnej z grup elitarnych kolarzy trenujących w warunkach normoksji i hipoksji. Autorzy sugerują, iż 12 nocy ekspozycji na hipoksję normobaryczną (2650 m) nie jest wystarczające do stymulowania produkcji retikulocytów ani zwiększenia masy hemoglobiny u elitarnych kolarzy.

W badaniu El-Askeri i Nasr [2012] wzięło udział 17 elitarnych męskich bokserów z Egiptu (w wieku 18-23 lata). Analiza danych wykazała istotne zmniejszenie ($p < 0,05$) częstości akcji serca w spoczynku, częstości akcji serca po 1, 2 i 3 minutach regeneracji, wskaźnika wymiany oddechowej oraz stężenia mleczanu, natomiast zaobserwowano istotne zwiększenie ($p < 0,05$) maksymalnej częstości akcji serca, względnego i bezwzględnego VO_{2max} , oraz wartości kinazy kreatynowej (CK) i dehydrogenazy mleczanowej (LDH). Statystyki pokazują znaczące zmiany fizjologiczne i biochemiczne spowodowane ćwiczeniami bokserskimi u elitarnych bokserów. Analiza wpływu treningu na aspekty fizjologiczne i biochemiczne wnosi nowe wymiary, które mogą pomóc w ocenie, kierowaniu i rozwijaniu programów treningowych dla sportowców.

Badanie Aulina i wsp. [1998] dotyczące oceny wpływu przerywanej ekspozycji na normobaryczną hipoksję wskazują, że przerywana normobaryczna hipoksja przez 10 dni prowadzi do znaczącej stymulacji erythropoezy. Przebywanie w warunkach hipoksyjnych może stanowić uzupełnienie standardowego pobytu na dużej wysokości.

Z kolei badanie przeprowadzone przez Saunders i wsp. [2004] u elitarnych biegaczy długodystansowych w warunkach hipoksji i normoksji wskazują na brak istotnych różnic w wentylacji minutowej, stosunku wymiany gazowej, częstości akcji serca czy masy hemoglobiny. Po LHTL nie zaobserwowano wzrostu stężenia mleczanu, co sugeruje, że niższy koszt aerobowy biegu nie wynikał z większego wkładu energetycznego anaerobowego.

Badanie wpływu aklimatyzacji i ekspedycji w Himalajach na biochemię ciała oraz status hormonalny przeprowadził też Savourey i wsp. [1998]. Wnioski z tych badań wskazują, że zarówno aklimatyzacja, jak i ekspedycja w Himalajach wpływają na status hormonalny i biochemię ciała, mimo że zmiany te były niewielkie i szybko się cofnęły.

Badanie biegaczy narciarskich przeprowadzone przez Werhrlina i wsp. [2006] wskazuje, że w grupie trenującej na wysokościach nastąpił istotny wzrost Hbmass (z 805 ± 209 g do 848 ± 225 g; $P < 0.01$) oraz RCV (z 2353 ± 611 ml do 2470 ± 653 ml; $P < 0.01$), podczas gdy w grupie trenującej w warunkach normoksji nie odnotowano zmian. Jednocześnie w grupie trenującej na wysokościach zaobserwowano wzrost stężenia erytropoetyny ($P < 0.001$), retikulocytów ($P < 0.001$), transferyny ($P < 0.001$), rozpuszczalnego receptora transferyny ($P < 0.05$) oraz hematokrytu ($P < 0.01$), podczas gdy ferrytyna ($P < 0.05$) uległa zmniejszeniu. Te zmiany były związane z poprawą maksymalnego poboru tlenu (z 3515 ± 837 ml/min do 3660 ± 770 ml/min; $P < 0.05$) oraz lepszymi wynikami biegu na 5000 m (z 1098 ± 104 s do 1080 ± 98 s; $P < 0.01$) przed i po okresie wysokościowym. Wyniki tych badań sugerują, że mieszkanie na wysokości 2500 m i trening na niższych wysokościach przez 24 dni prowadzi do zwiększenia Hbmass i RCV, co może przyczynić się do poprawy wyników sportowych elitarnych sportowców wytrzymałościowych. W badaniu Gore i wsp. [2006] uczestniczyło 23 sportowców, którzy trenowali albo w warunkach hipoksji lub w normoksji. Wyniki pokazały, że chociaż stężenie EPO wzrosło dwukrotnie 3 godziny po ekspozycji na hipoksję, nie zaobserwowano wzrostu objętości czerwonych krwinek ani masy hemoglobiny w obu badanych grupach. Średnia zmiana RCV wyniosła 2,3% w grupie trenującej w warunkach hipoksji i -0,2% w grupie trenującej w warunkach normoksji.

Badania prowadzone przez Szyszkę i Zembroń-Macny [2000] wykazały istnienie zależności pomiędzy typem uprawianej dyscypliny sportowej a zakresem zmian w równowadze prooksydacyjno-antyoksydacyjnej. Przy czym zmiany te dotyczą zarówno antyoksydantów jak i strony prooksydacyjnej tzn. poziomu produktów uszkodzenia błon komórkowych przez reaktywne formy tlenu w procesie peroksydacji. W przypadku strony antyoksydacyjnej stwierdzono zróżnicowany poziom dwóch najważniejszych antyoksydantów – dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) reprezentującej antyoksydanty enzymatyczne oraz glutationu

reprezentującego antyoksydanty drobnocząsteczkowe. Ich badania wskazują, iż systematycznie trenujący zawodnicy sportów siłowych, zapaśnicy i kulturyści charakteryzują się najwyższym spoczynkowym poziomem aktywności SOD w krwinkach czerwonych. Wysoka aktywność SOD w trakcie treningów wpływała na wyższy poziom oksydacyjnego uszkodzenia krwinek.

Trening sportowy może zwiększać produkcję wolnych rodników i reaktywnych form tlenu, co prowadzi do różnic w poziomie stresu oksydacyjnego u sportowców. Badanie Hadžović - Džuvo1 i wsp. [2014] przeprowadzone u elitarnych sportowców z różnych dyscyplin wskazuje, iż poziom MDA był wyższy u koszykarzy, typ sportu nie miał jednak istotnego wpływu na inne markery stresu oksydacyjnego. Elitarne uprawianie sportu powoduje zwiększony stres oksydacyjny, co wymaga monitorowania i odpowiedniej suplementacji antyoksydantami.

Wcześniejsze prace wykazały, że wykonywanie wysiłku fizycznego prowadzi do stresu oksydacyjnego, jednak powtarzanie wysiłki fizyczne zwiększają zdolność organizmu do przetrwania stresu oksydacyjnego poprzez zwiększenie aktywności mechanizmów antyoksydacyjnych [Bouid i wsp. 2015; Withee i wsp. 2017]. W przeprowadzonych obecnie badaniach wykonywanie wysiłku fizycznego prowadziło do statystycznie znaczącego wzrostu stężenia dialdehydu malonylowego (malondialdehyde – MDA) w osoczu po wykonaniu pierwszej serii ćwiczeń i efekt ten występował w obydwóch grupach sportowców, zarówno w grupie trenującej w komorze hypobarycznej, jak i trenujących w warunkach normalnych ciśnień gazów oddechowych. MDA jest w miarę stabilnym produktem peroksydacji lipidów i jest ogólnie uznanym markerem ekspozycji na stres oksydacyjny [Maduzia i wsp. 2015]. Zmianie tej towarzyszyło zmniejszenie aktywności dysmutazy ponadtlenkowej (superoxide dismutase- SOD), która jest enzymem usuwającym z organizmu wolne rodniki tlenowe, a jednocześnie działania ulega degradacji, co zmniejsza jej aktywność. Natomiast wbrew oczekiwaniom nie dochodziło do statystycznie znaczącego spadku stężenia w osoczu glutationu całkowitego, a tym bardziej glutationu zredukowanego, który też jest zużywany w trakcie inaktywacji wolnych rodników tlenowych. Brak takich zmian prawdopodobnie wynikał z faktu, że sportowcy z obydwóch grup badawczych od wielu lat uczestniczą w kolejnych cyklach treningowych, jak i zawodach sportowych w ramach karier zawodniczych. To powoduje, że w przypadku doszło do aktywacji endogennych mechanizmów zapobiegających rozwojowi nadmiernego stresu oksydacyjnego. Należy również

stwierdzić, że w przypadku sportowców uczestniczących w prezentowanym cyklu treningowym dochodziło dalszego rozwoju mechanizmów antyoksydacyjnych. W obydwóch grupach badawczych dochodziło do zmniejszania powysiłkowego poziomu MDA, jak też poprawiała się powysiłkowa aktywność SOD, poziom glutationu zredukowanego nie ulegał po wysiłku zmniejszeniu, ale zwiększeniu.

Badania Benitez-Siller i wsp. [2011] przeprowadzone wśród młodych mężczyzn badające sprawność, wydolność i stres oksydacyjny z uwzględnieniem wysiłku aerobowego wskazują, że po wysiłku stosunek glutationu uległ znacznemu zmniejszeniu i jednocześnie uległ zwiększeniu stres oksydacyjny. Większy stres oksydacyjny zaobserwowali też Watson i wsp. [2005], którzy badali wytrenowanych sportowców. Stwierdzili, że można złagodzić ten stres u sportowców, którzy wykonują ćwiczenia o dużej intensywności trwające dłużej niż 40 min poprzez spożywanie pokarmów bogatych w przeciwutleniacze lub suplementy diety. Niekoniecznie natomiast taką dietę muszą przestrzegać sportowcy trenujący intensywnie krócej niż 40 min.

Jak przedstawiono we wstępie, ciężki wysiłek fizyczny może znacznie ograniczać przepływ krwi przez nerkę i prowadzić do rozwoju ostrego uszkodzenia nerki (acute kidney injury – AKI) [Jouffroy i wsp. 2019]. W badaniach ogólnych moczu przeprowadzonych u sportowców w ostatnim dniu treningu nie stwierdzono zmian patologicznych, co dowodzi, że przeprowadzony cykl treningowy był bezpieczny dla uczestników nie stanowił zagrożenia dla ich zdrowia. Również poziom lipokaliny związanej z żelatynazą neutrofilów (NGAL – neutrophil gelatinase-associated lipocalin) w moczu w pełni mieścił się w zakresach fizjologicznych, co dowodzi, nie dochodziło do narażania nerek na ich uszkodzenie.

4.3. Wpływ eksperymentalnego treningu na zdolności motoryczne

Badania własne przeprowadzone na grupie 20 zawodników boksu miały na celu zbadanie wpływu treningu w warunkach hipoksji na cztery wskaźniki sprawności fizycznej: skok w dal z miejsca, podciąganie na drążku, skłony tułowia oraz siłę ścisku ręki. Dwuczynnikowa analiza wariancji (ANOVA) wykazała brak istotnych różnic między grupami treningowymi (hipoksja vs. normoksja) oraz w momentach pomiaru (przed i po treningu). W przypadku skoku w dal z miejsca, nie odnotowano znaczących różnic ($p > 0,260$), a wyniki dla podciągania na drążku również wskazały na niewielką, ale nieistotną poprawę ($p > 0,4984$). W przypadku skłonów tułowia

zaobserwowano umiarkowaną poprawę po treningu, jednak także była ona statystycznie nieistotna ($p > 0,3147$). Siła ścisku ręki również nie wykazała znaczących zmian między grupami oraz momentami pomiaru ($p > 0,9264$). Wyniki sugerują, że warunki treningowe hipoksji nie przyniosły statystycznie istotnych różnic w wynikach sprawności fizycznej w porównaniu do treningu w normoksji, a interakcja między warunkami treningowymi a momentem pomiaru była nieistotna dla każdego z analizowanych wskaźników.

Analiza wyników wskazuje, że trening w warunkach hipoksji nie przyniósł istotnych efektów w zakresie poprawy wskaźników sprawności fizycznej. Wskaźniki wielkości efektu (η^2p) sugerują, że efekty te są bardzo małe, co oznacza, że zmiany w wynikach były minimalne zarówno w grupie hipoksji, jak i normoksji. Wynika to z niewielkich różnic w wynikach przed i po treningu, co może sugerować, że inne czynniki, takie jak indywidualna adaptacja do treningu, odgrywają większą rolę niż sam warunek hipoksji.

Katayama i wsp. [2004] badali 15 biegaczy długodystansowych w warunkach hipoksji przerywanej. Ich wyniki sugerują, że poprawa ekonomii biegu wynikająca z hipoksji przerywanej może w pewnym stopniu przyczynić się do poprawy wydolności wytrzymałościowej u wytrenowanych sportowców.

Badania Blaževića i wsp. [2008] przeprowadzone na próbie 92 chorwackich bokserów z różnymi klasami wagowymi wskazują, że brak jest istotnych statystycznie korelacji między pożądaną skutecznością a zdolnościami motorycznymi związanymi z intensywnością i regulacją intensywności treningu oraz prędkością i częstotliwością ruchu. Chociaż zmienne te są istotne dla bokserów na poziomie mistrzowskim. Z kolei badania Kalača i Gontareva [2014] przeprowadzone na 102 macedońskich bokserach w wieku 18-33 lat wskazują, iż lepsza koordynacja zawodników wpływa na ich zwinność, a umiejętność mobilizacji energii w krótkim czasie wraz z koordynacją wpływa na moc i prędkość oraz wytrzymałość kończyn górnych.

Z kolei badania Shabba i Nesera [2021] wykazały, że trening w warunkach hipoksji przyczynia się do poprawy sprawności fizycznej bokserów, co stoi w pewnym kontraście do niniejszych badań, gdzie zmiany były niewielkie i statystycznie nieistotne. Podobnie, inne badania sugerują, że wpływ hipoksji na wydolność fizyczną może być zależny od wielu czynników, takich jak typ sportu, czas trwania treningu oraz indywidualna reakcja organizmu. Faiss i wsp. [2013]

pokazali, że powtarzany trening sprintowy w warunkach hipoksji może prowadzić do istotnych adaptacji na poziomie molekularnym, które wspomagają poprawę wyników fizycznych, choć w przypadku sportów wytrzymałościowych, takich jak bieganie, te efekty mogą być bardziej widoczne.

Millet i Debevec [2020] w swoim przeglądzie wskazali, że trening w warunkach hipoksji w sportach zespołowych może prowadzić do poprawy wydolności tlenowej, ale efekty te nie są jednoznaczne i często zależą od metodyki oraz poziomu wytrenowania zawodników. Natomiast Bonetti i Hopkins [2009] w swojej meta-analizie wskazali, że trening w hipoksji przynosi korzyści w zakresie wydolności fizycznej, jednak wyniki te mogą być zmienne, a niektóre grupy sportowców odnoszą z tego mniejsze korzyści.

Choć badania wykazują potencjalne korzyści wynikające z treningu w warunkach hipoksji, w przypadku analizowanej grupy bokserów zmiany były minimalne i nieistotne statystycznie. Może to wynikać z indywidualnych różnic w adaptacji do treningu oraz innych czynników, które mogą odgrywać większą rolę w poprawie sprawności fizycznej bokserów, takich jak koordynacja czy intensywność i specyfika treningu.

4.4. Wpływ treningu w warunkach hipoksji normo barycznej i normoksji na poziom wydolności tlenowej

Sporty walki, takie jak boks, charakteryzują się przerywaną aktywnością o wysokiej intensywności. W boksie runda trwa 3 minuty, z 1-minutową przerwą pomiędzy rundami, a maksymalna liczba rund to 12, co daje łączny czas trwania walki około 47 minut, co wymaga od zawodników wysokiego poziomu wydolności tlenowej [Alm and Ji-Guo 2013]. Krótka, 60-sekundowa przerwa między rundami zmusza zawodnika do walki w warunkach znacznego zmęczenia [Lech i wsp. 2010]. Stosunek aktywności do odpoczynku wynosi od 1:1 do 1:3, a maksymalna wydolność tlenowa zawodników wynosi około 65 ml/kg/min [Ruddock i wsp. 2021]. Wysoki poziom wydolności tlenowej umożliwia szybką regenerację i utrzymanie odpowiedniej intensywności walki przez cały jej czas trwania [Rooney 2008].

Najczęściej efektywność układu transportu tlenu oceniana jest za pomocą $VO_{2\max}$ [Czuba i wsp. 2011]. Teoretycznie trening wysokościowy/hipoksyczny może zwiększyć wydolność tlenową i wytrzymałość na poziomie morza poprzez kilka biochemicznych i strukturalnych zmian adaptacyjnych [Faiss i wsp. 2013a;

Geiser i wsp. 2001; Hamlin i wsp. al. 2010]. Wyniki badań wskazują, że VO_{2max} na poziomie $58 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ jest niezbędny dla zawodników MMA [Lahti, 2016]. Wysoko rozwinięta wydolność aerobowa niezbędna jest też do uprawiania innych sportów walki. W przypadku zawodników boksu pozwala im utrzymać powtarzające się działania o wysokiej intensywności w trakcie walki, przyspieszyć proces regeneracji oraz utrzymać kondycję do ostatniej rundy [Chaabe'ne i wsp. 2014]. Średnie wartości VO_{2max} bokserów amatorskich wahają się od 49 do 65 ml/kg/min u mężczyzn oraz od 44 do 52 ml/kg/min u kobiet [Chaabe'ne i wsp. 2014; El-Ashker i Nasr 2014]. U bokserów średni poziom maksymalnego minutowego poboru tlenu kształtuje się na poziomie $63,8\pm 4,8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ [Smith 2006].

Badania własne wskazują, iż trening w warunkach hipoksji miał minimalny wpływ na większość wskaźników wydolnościowych, takich jak czas progu AT, czas progu RC oraz maksymalny czas, w porównaniu do treningu w normoksji. W grupie normoksji zaobserwowano wzrost wartości wskaźników, co sugeruje lepszą poprawę wydolności w tych warunkach. W warunkach normoksji poprawiły się prędkość i moc na progach AT i RC oraz podczas maksymalnego wysiłku, podczas gdy w hipoksji wartości te nie zmieniły się istotnie. W obu grupach wystąpiły niewielkie zmiany w prędkości i mocach na progach AT i RC, ale większe zmiany były widoczne w grupie normoksji. Zmiany w wentylacji płuc i kosztu fizjologicznego były niewielkie w obu grupach, co sugeruje stabilność tych wskaźników po programie treningowym.

Analizy wykazały istotny wpływ warunków treningowych na różne wskaźniki wydolnościowe. Trening w hipoksji mógł wydłużyć czas osiągnięcia progów AT i RC oraz czas maksymalny. Interakcje między warunkami treningowymi a momentem pomiaru nie miały istotnego wpływu na większość wskaźników, co sugeruje, że zmiany w wydolności nie były zależne od czasu treningu. Trening w warunkach hipoksji wpłynął na maksymalną prędkość biegu, ale nie zmienił istotnie maksymalnego poboru tlenu (VO_2) w porównaniu z normoksją. Koszt fizjologiczny również różnił się w zależności od warunków treningowych.

Wyniki badań własnych wskazują na brak istotnych statystycznych różnic między grupami w zakresie VO_{2max} w badanych warunkach otoczenia (hipoksja, normoksja) oraz w zależności od czasu treningu (przed i po). To oznacza, że te czynniki samodzielnie nie wywierają silnego wpływu na wartości VO_{2max} u badanych zawodników. Zauważono niewielki wpływ warunków otoczenia

(hipoksja vs. normoksja) na VO_{2max} . Istotna statystycznie różnica występuje między tymi warunkami, ale efekt jest niewielki, co potwierdzają współczynniki Cohena. Średnie różnice są relatywnie małe, co oznacza, że warunki otoczenia mogą mieć ograniczony wpływ na VO_{2max} . Nie stwierdzono też istotnych statystycznych interakcji między warunkami otoczenia a czasem treningu. To sugeruje, że różnice między grupami trenującymi w hipoksji i normoksji nie zmieniają się w zależności od czasu treningu. Wartości błędów standardowych oraz współczynników zmienności wskazują na pewną stabilność i spójność w wynikach VO_{2max} między różnymi kombinacjami warunków otoczenia i czasu treningu. Zmienność w tych wynikach jest stosunkowo niewielka, co może sugerować pewną spójność w wynikach pomiarów.

Warto zauważyć, że analizowane warunki i czasy treningu prawdopodobnie nie wyjaśniają całej zmienności VO_{2max} . Istnieje możliwość, że inne czynniki, takie jak dieta, genetyka czy indywidualne adaptacje organizmu, mogą również wpływać na tę zmienną.

Pomimo braku istotnych różnic w wielu przypadkach, wyniki te nie wykluczają wpływu badanych czynników na VO_{2max} w innych kontekstach lub u innych populacji. Dalsze badania mogą pomóc lepiej zrozumieć te zależności i wyjaśnić, jakie inne czynniki mogą wpływać na tę ważną zmienną fizjologiczną.

Ostatecznie, wyniki badań własnych sugerują, że warunki otoczenia i czas treningu mają ograniczony wpływ na VO_{2max} w badanej próbie. To potwierdza złożoną naturę tej zmiennej i potrzebę uwzględnienia wielu czynników przy analizie jej zmienności.

W badaniu zastosowano metodę IHT poprzez wprowadzenie treningu w komorze hipoksji w grupie eksperymentalnej. Trening wysokościowy może być przeprowadzony albo za pomocą okresowej ekspozycji na hipoksję na symulowanej wysokości 3000-6000 m n.p.m. naprzemiennie z normoksycznymi warunkami przez 1,5-3 h w fazie regeneracji po treningu (IHT), albo zawodnicy poddawani są warunkom normoksycznym i treningowi trwającemu 1-2 h w normo- albo hipobarii przy niedotlenieniu. Przy metodzie IHT przebywanie w warunkach niedotlenienia powoduje reakcje adaptacyjne, które mogą wpłynąć na zwiększenie wydolności wysiłkowej [Hamlun i Hellemans 2004], co widoczne jest również w uzyskanych wynikach badania własnego. Warunki te według Bedidlemana i wsp. [2009] nie są

jednak wystarczające do wywołania wzrostu wyników wytrzymałościowych na wysokości 4300 m n.p.m.

Badania dotyczące treningu w warunkach hipoksji i normoksji przynoszą mieszane wyniki. Trening w normoksji sprzyjał większej poprawie prędkości i mocy na progach AT (próg anaerobowy) i RC (próg kompensacji oddechowej), a także podczas maksymalnych wysiłków. W grupie trenującej w hipoksji te wskaźniki nie uległy istotnym zmianom. Badania własne sugerują, że warunki normoksji lepiej poprawiają wydolność w tych aspektach, podczas gdy trening w hipoksji może wpływać na efektywność energetyczną [Hamlun i Hellemans 2004].

Intermittent Hypoxic Training (IHT), czyli okresowa ekspozycja na hipoksję, na wysokościach symulowanych od 3000 do 6000 m n.p.m., może przynieść adaptacje organizmu zwiększające wydolność tlenową. Jednak nie wszystkie badania wskazują na istotne zmiany w VO_{2max} . Na przykład, Schmitt i wsp. [2006] oraz Vogt i wsp. [2001] wykazali wzrost VO_{2max} w obu grupach trenujących zarówno w warunkach hipoksji, jak i normoksji. Natomiast Colleen i wsp. [2004] nie stwierdzili różnic w maksymalnym poborze tlenu między biegaczami długodystansowymi trenującymi w różnych warunkach. Badania VO_{2max} przeprowadzono wśród zawodników trenujących MMA [Tota i wsp. 2019]. Stwierdzono w nich znaczącą poprawę VO_{2max} po 14-dniowym treningu, co świadczy o dobrej wydolności tlenowej zawodników oraz właściwym doborze środków treningowych.

Jedno z badań oceniających efektywność metody „żyj wysoko - trenuj nisko (LHTL) przeprowadzone przez Brugniaux i wsp. [2006] wykazało poprawę maksymalnego pobierania tlenu oraz mocy aerobowej wśród elitarnych biegaczy średniodystansowych, co pokazuje, że ten typ treningu może być korzystny dla sportowców wytrzymałościowych.

Podobnie badania Truijensa i wsp. [2003] wśród pływaków nie wykazały istotnego wpływu hipoksji na VO_{2max} , mimo że wyniki sportowe uległy poprawie po treningu. Inne badania sugerują, że trening w warunkach hipoksji może zwiększać metabolizm beztlenowy, co ma znaczenie dla bokserów i zawodników MMA, którzy często operują na granicy tlenowej i beztlenowej [Ambroży i wsp. 2020].

Badania Ghosh i Rate [2010] przeprowadzone wśród 6 elitarnych bokserów z Indii wykazały, iż ich średnie VO_{2max} wyniosło $59,5 \pm 4,7$ ml/kg/min na bieżni. Średnie szczytowe VO_2 w 2X4 symulowanych rundach wyniosły 56,1, 57,5, 57,7

i 59,3 ml/kg/min. Średnia częstość akcji serca i poziom mleczanu wyniosły odpowiednio 192 bpm i 13,6 mMol/L, co było wyższe niż w większości sportów drużynowych o charakterze przerywanym. Badanie podkreśliło, że bokserzy powinni być w stanie tolerować wysoki poziom mleczanu we krwi (14-15 mMol/L) oraz wysoką częstość akcji serca (190-200 bpm) przez łączny czas trwania pojedynku (11 minut).

Jak wykazują wyniki uzyskane przez Ogitę [2006] trening ten może przynieść również korzystne zmiany w zdolności szybkościowo-siłowej i przyczynić się do wzrostu wydolności beztlenowej. Hamlin i wsp. [2010] wykazali w badaniach wykonanych za pomocą testu Wingate korzystny wpływ IHT na wielkość mocy. Badania Ambrożego i wsp. [2020] potwierdzają skuteczność stosowania IHT jako skutecznego uzupełnienia treningu fizycznego, chociaż nie wykazano istotnych zmian wydolności beztlenowej, to stwierdzono wzrost prędkości biegu przy VO_{2max} i VT2.

Niektóre badania [Czuba i wsp. 2011; Dufour i wsp. 2006] wskazują, że zastosowanie treningu w warunkach hipoksji normobarycznej u biegaczy długodystansowych i rowerzystów zwiększyło maksymalny pobór tlenu o 3,5-5%, nastąpił też wzrost obciążeń progowych o 4-8%. Z kolei badania Hamlina i Hellemansa [2004] po 6 tygodniowym treningu IHT uwidaczniają wzrost czasu trwania progresywnego wysiłku u biegaczy długodystansowych, jednak bez zmian prędkości. Zatem trening ten spowodował wzrost poziomu wydolności tlenowej.

Z kolei badania Brocherie i wsp. [2015] przeprowadzone wśród wysoko wytrenowanych piłkarzy dotyczące zdolności do powtarzanego sprintu o wysokiej intensywności (RSA) i eksplozywnego treningu siły/zwinności/sprintu w przypadku hipoksji normobarycznej wskazują, iż po treningach w hipoksji wzrosła moc eksplozywna kończyn dolnych i osiągi maksymalnego sprintu.

Chociaż badania wykazują korzyści płynące z treningu w hipoksji, nie we wszystkich przypadkach przynosi on istotne zmiany. Brocherie i wsp. [2015] stwierdzili wzrost mocy eksplozywnej wśród piłkarzy po treningu w hipoksji, ale inne badania, takie jak Abellán i wsp. [2005], nie potwierdzają istotnej poprawy w wydolności u elitarnych sportowców.

Jednak nie we wszystkich badaniach obejmujących trening IHT wykazano poprawę u elitarnych sportowców [Abellán i wsp. 2005; Ambroży i wsp. 2020; Ventura i wsp. 2003]. Rozbieżności te mogą wynikać ze zbyt małych obciążeń

wysiłkowych lub niewystarczającego czasu treningu w warunkach hipoksji [Levie 2006]. Brak poprawy wytrzymałości w treningu w warunkach hipoksji może też wynikać z wysokiego poziomu sportowego bokserów, ich znacznego poziomu wytrzymałości już na początku treningu oraz ograniczeń związanych z poprawą wydolności tlenowej u osób już trenujących [Ambroży i wsp. 2020].

Wyniki badań pokazują złożoność wpływu treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wydolność tlenową. Badania Ambrożego i wsp. [2020] oraz Sanchez i Borrani [2018] wykazują, że przerywany trening w hipoksji może dodatkowo wpływać na wydolność tlenową, ale nie wszystkie aspekty fizjologiczne, takie jak VO_{2max} , ulegają istotnym zmianom.

Badania Sanchez i Borrani [2018] pokazują, że przerywany trening w warunkach hipoksji może wpływać dodatkowo na wydolność tlenową bez pogorszenia wskaźnika wydolności beztlenowej u wysoko wytrenowanych sportowców.

Badania Ambrożego i wsp. [2020] potwierdziły wzrost umiejętności szybkościowych u bokserów po 6 tygodniowym cyklu treningowym IHT. Potwierdzają one hipotezę Koumenisa [2006] i Etheridge'a [2011], którzy wykazali, iż krótkotrwały trening IHT trwający do 60 do 120 min połączony z ćwiczeniami oporowymi stanowi impuls do syntezy białek mięśniowych wpływając na zwiększenie zdolności szybkościowo-siłowych.

4.5. Wpływ eksperymentalnego treningu w warunkach hipoksji na wskaźniki powysiłkowe

Badania własne wskazują na zmiany stężenia mleczanu, w warunkach hipoksji, różnica stężenia mleczanu przed i po wysiłku wzrosła z 4,805 do 5,644 mmol/l, a w warunkach normoksji wzrost był bardziej wyraźny, z 5,468 do 6,506 mmol/l. Po 20 s wysiłku, stężenie mleczanu zmniejszyło się po treningu w obu warunkach, co wskazuje na poprawę zdolności do eliminacji mleczanu.

Po programie treningowym maksymalne stężenie mleczanu spadło zarówno w hipoksji (z 10,345 do 9,211 mmol/l), jak i w normoksji (z 9,658 do 7,928 mmol/l), co sugeruje poprawę efektywności wysiłku.

Moc szczytowa była nieznacznie wyższa w warunkach normoksji (1038,13 W) w porównaniu do hipoksji (1012,50 W), ale różnice nie były istotne statystycznie. Również moc średnia była wyższa w normoksji (784,188 W) w porównaniu do

hipoksji (759,175 W), jednak różnice były minimalne. Z kolei moc anaerobowa była podobna w obu grupach (12,325 W/kg w hipoksji vs. 12,388 W/kg w normoksji), co wskazuje na brak istotnego wpływu hipoksji na zdolności anaerobowe.

W warunkach hipoksji pojemność anaerobowa wzrosła po treningu, podczas gdy w normoksji zmiany były mniej wyraźne. W warunkach hipoksji nastąpiło istotne zmniejszenie indeksu zmęczenia, co sugeruje poprawę zdolności do utrzymania intensywnego wysiłku. W obu grupach zaobserwowano wzrost wartości pracy oraz skrócenie czasu uzyskania mocy maksymalnej po treningu, co świadczy o poprawie wydolności anaerobowej.

Istotne różnice wystąpiły w stężeniu mleczanu mierzonym na początku wysiłku (LA WT 3) oraz 20 sekund po wysiłku (LA TS 20), co sugeruje, że moment pomiaru miał znaczący wpływ na wyniki. W warunkach hipoksji zaobserwowano istotny wzrost mocy średniej po treningu, podczas gdy w normoksji nie wystąpiły istotne różnice. W warunkach hipoksji odnotowano również istotny wzrost pojemności anaerobowej po treningu, w przeciwieństwie do normoksji, gdzie zmiany były mniej wyraźne.

Można więc powiedzieć, iż trening w warunkach hipoksji i normoksji poprawił zdolności anaerobowe i adaptację do wysiłku, z większymi zmianami obserwowanymi w warunkach normoksji. Różnice w wynikach sugerują, że trening w normoksji może sprzyjać lepszej tolerancji intensywnego wysiłku, jednak obie metody treningowe przyniosły korzyści w zakresie pojemności anaerobowej, eliminacji mleczanu oraz poprawy mocy. Wyniki te podkreślają potrzebę dalszych badań, aby dokładniej zrozumieć wpływ hipoksji na parametry wydolnościowe i adaptację do wysiłku.

W badaniu Toty i wsp. [2019] przeprowadzonym wśród zawodników MMA po przeprowadzeniu testu Wingate, zaobserwowano wzrost szczytowej mocy anaerobowej z 10,8 W·kg⁻¹ do 11,5 W·kg⁻¹. Również wyniki testu po 11-tygodniowym okresie treningowym zawodnika MMA wykonane przez Totę i wsp. [2014] wskazują na poprawę mocy szczytowej zawodnika. Moc wzrosła z 7,8 W/kg do 8,1 W/kg, co pokazuje skuteczność zastosowanego programu treningowego.

Badania Chicka i wsp. [1993] sugerują, iż trening w warunkach hipoksji zwiększa zdolność do pracy po jego zastosowaniu. Natomiast badania Hamlina i wsp. [2017] wskazują, iż trening powtórzeniowy w hipoksji przez sześć sesji zwiększa zdolność do powtarzania sprintów u dobrze wytrenowanych zawodników

rugby. Badanie Clark i wsp. [2004] wskazują, że 20 kolejnych nocy hipoksji zmniejszyło wskaźnik pojawiania się mleczanu w organizmie podczas intensywnych ćwiczeń u dobrze wytrenowanych sportowców, jednak nie wpłynęło na markery metabolizmu mleczanu i regulacji pH w mięśniach.

Hendriksen i Meeuwsen [2003] badali 16 triathlonistów, którzy przez 10 dni trenowali po 2 godziny na ergometrze rowerowym umieszczonym w komorze hipobarycznej (8 zawodników trenowało na poziomie morza, a 8 na stymulowanej wysokości 2500 m n.p.m.). Intensywność tego treningu wynosiła 60-70% rezerwy tętna. Rok później wykonali badanie krzyżowe obejmujące test przyrostowy i test beztlenowy Wingate. Wyniki badania wskazują, iż przerywany trening hipobaryczny może usprawnić system dostarczania energii beztlenowej i w mniejszym stopniu wpłynąć na system tlenowy. Średnia moc beztlenowa była jedną zmienną, która wykazywała istotnie większy wzrost w wyniku treningu na wysokości.

Badanie Hamlia i wsp. (2010) potwierdza korzyści związane z treningiem IHT dla wydolności i/lub wydajności anaerobowej podczas jazdy na rowerze. Średnia moc podczas 30-sekundowego testu Wingate wzrosła o 3,0% (95% przedział ufności $\pm 3,5\%$) po 2 dniach oraz o 1,7% ($\pm 3,8\%$) po 9 dniach od IHT. Zmiany innych zmiennych wydajnościowych były niejednoznaczne. Poprawę w mocy szczytowej (6,8%) i średniej mocy podczas sprintów (8,3%) oraz wzrost stężenia hemoglobiny (3,6%) w porównaniu do grupy kontrolnej zakonserwowano też w grupie kajakarzy trenującej w warunkach hipoksji i normoksji. Efekty te były widoczne jeszcze 10 dni po zakończeniu interwencji. Badanie sugeruje, że intermittent hipoksyiczne narażenie może poprawić wydolność w wyścigach kajakowych, prawdopodobnie dzięki zmianom w transporcie tlenu [Bonetti i wsp. 2006]. Istotnie większy wzrost mocy średniej anaerobowej w wyniku treningu w hipoksji zaobserwowano też w badaniach Hendriksen i Meeuwsen [2003]. Choć różnice w procentowych zmianach między protokołami treningowymi nie były statystycznie istotne, były znaczące dla W-max oraz mocy szczytowej anaerobowej. Wyniki te sugerują, że przerywany trening hipobaryczny może poprawić system dostarczania energii anaerobowej oraz, w mniejszym stopniu, system aerobowy.

W boksie zapotrzebowanie glikolityczne jest umiarkowane do wysokiego, a stężenie mleczanu wynosi od $9,5 \pm 1,8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ [Davis i wsp. 2014] do $11,8 \pm 1,6 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ [Davies i wsp. 2013]. Smith i in. [2005] analizowali stężenie mleczanu po symulacji walki bokserskiej o różnej długości rund. Podczas walki 3 x 2 minuty

z 1 minutą przerwy stężenie mleczanu wyniosło $8,6 \pm 3,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. Natomiast podczas walki 3 x 3 minuty z 1 minutą przerwy stwierdzono wzrost stężenia mleczanu po symulacji walki ($9,5 \pm 3,0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$). Badania Lopes-Silvy i Franchini [2021] wykazały wzrost absolutnych wartości stężenia mleczanu w trakcie rund, co jednak nie oznacza to wzrostu wkładu glikolitycznego. Autorzy wyrażają stężenie mleczanu w oparciu o wartości delta, wykorzystując różnicę między szczytowym stężeniem mleczanu po każdej rundzie a stężeniem mleczanu na początku rundy, kiedy sporty walki są dzielone na rundy. Tak więc, mimo wzrostu stężenia mleczanu, nie oznacza to wzrostu wkładu anaerobowego, a wręcz przeciwnie, z czasem zmniejsza się wkład glikolityczny. Na przykład, Davis i wsp. [2014] analizowali stężenie mleczanu w trakcie rundy podczas symulacji walki bokserskiej 3 x 2 minuty z 1 minutą przerwy między rundami. Wyniki pokazały wzrost stężenia mleczanu w miarę postępu rund. Jednak po obliczeniu wartości delta, stwierdzono wzrost stężenia mleczanu podczas symulacji walki. W związku z tym, podczas walki bokserskiej, stężenie mleczanu, gdy analizowane są wartości absolutne, wzrasta w zależności od liczby i długości rund, podczas gdy wartości delta wskazują na zmniejszenie stężenia mleczanu, co oznacza spadek wkładu glikolitycznego w miarę trwania walki.

Z kolei badania Puype i wsp. [2013] wykonane na grupie mężczyzn w wieku 18-30 lat na ergometrze rowerowym w komorze normobarycznej wskazują, iż trening interwałowy sprintu (SIT) w hipoksji zwiększył aktywność fosfofruktokinazy mięśniowej i próg beztlenowy bardziej niż ten sam trening w warunkach normoksji.

Analiza wpływu różnych typów treningów siłowych oraz treningów przeprowadzanych w 6-tygodniowym okresie przygotowawczym na maksymalną moc i moc beztlenową u elitarnych bokserów męskich była badana przez Ozdila i Cakmakcie'go [2016]. Wykazała ona, że nie było istotnych statystycznie różnic w wadze ciała pomiędzy grupami ani przed, ani po treningach. Jednakże stwierdzono istotne różnice w poziomach mocy beztlenowej we wszystkich trzech grupach ($p < 0,05$). Wyniki te sugerują, że treningi siłowe razem z treningami bokserskimi w okresie przygotowawczym nie przynoszą znaczącego wzrostu maksymalnej siły i mocy beztlenowej u bokserów.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można wysnuć następujące wnioski:

1. Trening w warunkach hipoksji nie wpłynął istotnie na zmiany masy ciała, BMI, procentową zawartość tkanki tłuszczowej (FATP) ani masy tkanki tłuszczowej (FATM). Obserwowane zmiany były minimalne, co może wynikać z małej próbki badawczej lub krótkiego okresu treningu. Również w zakresie poziomu erytrocytów, hemoglobiny, hematokrytu oraz retikulocytów nie stwierdzono istotnych różnic między grupami.
2. Trening w hipoksji nie przyniósł istotnych korzyści w zakresie wydolności tlenowej, co było widoczne w minimalnych zmianach w maksymalnej częstotliwości akcji serca (HR max) oraz wentylacji płuc. Zmiany te były niewielkie i nieistotne statystycznie. W zakresie wydolności anaerobowej, trening w hipoksji wykazał pewną poprawę, zwłaszcza w zakresie pojemności anaerobowej i zdolności eliminacji mleczanu. Jednakże, różnice między hipoksją a normoksją były niewielkie i nie zawsze istotne statystycznie.
3. Wyniki dotyczące zdolności motorycznych, takich jak skok w dal z miejsca, podciąganie na drążku, skłony tułowia i siła ścisku ręki, nie ujawniły istotnych różnic między grupami treningowymi ani między pomiarami przed i po treningu.
4. Analiza wpływu treningu na stres oksydacyjny i równowagę oksydacyjno-redukcyjną nie wykazała istotnych zmian. Potrzebne są dalsze badania, aby dokładniej określić, w jaki sposób trening w hipoksji wpływa na te parametry.
5. Badania nie wskazały na istotne uszkodzenia narządów takich jak serce, nerki, trzustka czy wątroba w wyniku intensywnego treningu w komorze hipoksyjnej.

Wyniki badań sugerują, że trening w komorze hipoksyjnej, choć może mieć pewne korzyści w zakresie wydolności anaerobowej, nie przynosi istotnych korzyści w porównaniu do treningu w normoksji w zakresie poprawy zdolności motorycznych, wydolności tlenowej oraz parametrów morfologicznych i funkcjonalnych organizmu. Obie metody treningowe przyczyniły się do poprawy wydolności anaerobowej i eliminacji mleczanu, jednak zmiany były bardziej wyraźne w normoksji.

Dalsze badania są potrzebne, aby dokładniej zrozumieć wpływ hipoksji na parametry wydolnościowe i adaptacyjne organizmu, a także, aby określić, czy dłuższy czas treningu i większe grupy badawcze mogą ujawnić bardziej wyraźne efekty treningu w hipoksji.

Wnioski aplikacyjno-wdrożeniowe (praktyczne)

Trening w warunkach hipoksji nie przyniósł istotnych korzyści w poprawie parametrów takich jak masa ciała, wskaźnik BMI, zawartość tkanki tłuszczowej oraz zdolności motoryczne w porównaniu do treningu w normoksji. W związku z tym, dla optymalizacji programów treningowych dla sportowców, szczególnie bokserów, zaleca się kontynuowanie tradycyjnych metod treningowych w normoksji. Trening w hipoksji może nie być konieczny, chyba że wyraźnie dopasowany do indywidualnych potrzeb zawodnika oraz specyficznych celów treningowych.

Trening w hipoksji wykazał pewne korzyści w zakresie wydolności anaerobowej, takich jak pojemność anaerobowa i zdolność eliminacji mleczanu. Warto uwzględnić te aspekty w planowaniu treningów, szczególnie dla sportowców, którzy potrzebują poprawy wydolności anaerobowej. Warto również monitorować wpływ tego typu treningu na wydolność anaerobową w dłuższych okresach oraz większych grupach, aby potwierdzić jego skuteczność.

Zmiany w poziomie erytrocytów, hemoglobiny i hematokrytu nie były istotne, co sugeruje, że krótkotrwały trening w hipoksji może nie mieć wyraźnego wpływu na te parametry. W praktyce, dla dokładniejszej oceny efektywności treningu hipoksyjnego, warto monitorować te parametry w dłuższym okresie czasu.

Ze względu na brak istotnych różnic w zdolnościach motorycznych między grupami, należy skupić się na tradycyjnych metodach poprawy tych zdolności. Trening w hipoksji nie wykazał wyraźnych korzyści w zakresie poprawy zdolności motorycznych, takich jak skok w dal, podciąganie na drążku czy siła chwytu ręki.

Badania nie wskazały na istotne uszkodzenia narządów wewnętrznych w wyniku intensywnego treningu w komorze hipoksyjnej. Niemniej jednak, w celu zapewnienia bezpieczeństwa sportowców, zaleca się dokładne monitorowanie ich stanu zdrowia oraz stosowanie ścisłych zasad bezpieczeństwa podczas treningu w hipoksji.

Wyniki sugerują, że dalsze badania są niezbędne do lepszego zrozumienia wpływu treningu w hipoksji na parametry wydolnościowe i adaptacyjne organizmu. Aby uzyskać pełniejszy obraz skuteczności treningu w hipoksji, konieczne są

badania z dłuższym czasem trwania oraz większymi grupami badawczymi, które mogą ujawnić potencjalne korzyści lub ograniczenia tej metody treningowej.

Podsumowując, zaleca się kontynuowanie stosowania tradycyjnych metod treningowych w normoksji, z uwzględnieniem ewentualnych korzyści treningu anaerobowego w hipoksji, a także monitorowanie stanu zdrowia sportowców oraz prowadzenie dalszych badań w celu optymalizacji programów treningowych.

6. Ograniczenia

Badanie zostało przeprowadzone na grupie 20 bokserów, co może ograniczać możliwość generalizowania wyników na całą populację sportowców. Choć badani zostali losowo podzieleni na grupy eksperymentalną i kontrolną, brak pełnej randomizacji w rekrutacji uczestników mógł wpłynąć na ostateczne wyniki. Losowy dobór grup mógł nie do końca zrównoważyć wszystkie zmienne zakłócające. Badanie trwało sześć tygodni, co może być niewystarczającym okresem do oceny trwałości efektów treningu. Brak długoterminowego śledzenia wyników ogranicza możliwość zbadania, czy zaobserwowane zmiany w sprawności fizycznej są trwałe. Podczas badania uczestnicy mieli nie zmieniać diety ani nie stosować suplementacji. Niemniej jednak, brak dokładnego monitorowania ich codziennych aktywności pozatreningowych stanowi ograniczenie. Badanie dotyczyło jedynie bokserów na poziomie mistrzowskim. Ogranicza to możliwość przeniesienia wyników na innych sportowców, w szczególności na osoby trenujące inne dyscypliny sportowe lub na niższym poziomie zaawansowania. Badanie dotyczyło hipoksji normobarycznej. Efekty tego typu treningu mogą się różnić od efektów uzyskanych w warunkach hipoksji wysokościowej. Ogranicza to możliwość bezpośredniego porównania wyników z innymi badaniami dotyczącymi hipoksji o różnych parametrach. Zastosowane testy sprawności fizycznej mogły nie obejmować wszystkich istotnych aspektów sprawności fizycznej w sporcie takim jak boks, co mogło wpłynąć na pełną ocenę efektów treningu. Te ograniczenia wskazują na konieczność ostrożnej interpretacji wyników i podkreślają potrzebę dalszych badań z większą próbą i dłuższym okresem obserwacji.

Piśmiennictwo

1. Abellán R., Remacha A. F., Ventura R., Sardà M. P., Segura J., Rodríguez F. (2005). Hematologic response to four weeks of intermittent hypobaric hypoxia in highly trained athletes. *Haematologica*, 90, 126–127.
2. Ackland T.R., Lohman G.L., Sundgot-Borgen J., Maughan R. J., Meyer N. L., Stewart A.D., Müller W. (2012). Current Status of Body Composition Assessment, *Sports Med*, 42: 227-249.
3. Adach Z., Naczk M. (2015). Podstawy treningu fizycznego, (W:) Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego, red. nauk. J. Górski, PZWL, Warszawa, 86-121.
4. Alm P., Ji-Guo Y. (2013). Physiological characters in mixed martial arts. *Am J Sports Sci*, 1(2): 12-7.
5. Ambroży T. (2008). Struktura treningu Ju-Jitsu: Biblioteka Trenera, COS, Warszawa.
6. Ambroży T. (2007). Wprowadzenie do teorii sportu. Poradnik metodyczny dla studentów. Wyd. „Dla Szkoły”, Bielsko-Biała.
7. Ambroży T., Badeński A. (2003). Analiza obciążeń treningowych i startowych w rocznym cyklu szkoleniowym na przykładzie Ju-jitsu (duo-system), (W:) S. Sterkowicz, T. Ambroży (red.): Ju-jitsu sportowe: proces szkolenia (podręcznik trenera), European, Association for Security. Kraków, 76-92.
8. Ambroży T., Kędra A. (2007). Ju-jitsu duo-system. Wybrane zagadnienia treningu sportowego, European, Association for Security, Kraków.
9. Ambroży T., Kędra A., Wrześniewski K., Kwiatkowski A., Kaznowski S., Mucha D. (2017). Propozycja wykorzystania autorskiego testu specjalnej sprawności fizycznej w różnych sportach walki. *Sec Econ & Law*, 3: 139-154.
10. Ambroży T., Kwiatkowski A., Mucha D., Wrześniewski K., Piwowarski J. (2016). Training load and training effectiveness In the preparatory phase by the case of kickboxing fighters of UKS Gladiator Club Security Dimensions. *Int & Nat Studies*, 17: 142-156.
11. Ambroży T., Maciejszyk M., Klimek A.T., Wiecha Sz., Stanula A., Snopkowski P., Pałka T., Jaworski J., Ambroży D., Rydzik Ł., Cynarski W. (2020). The Effects of Intermittent Hypoxic Training on Anaerobic and Aerobic Power in Boxers. *Int J of Environmental Res and Pub Heal*, 17, 1-11.

12. Ambroży T., Snopkowski P., Mucha D., Tota Ł. (2015). Obserwacja i analiza walki sportowej w boksie. *Sec Econ & Law*, 4: 58-71.
13. Ambroży T., Wieczorek T., Mucha D. (2016). Zasady właściwego i bezpiecznego prowadzenia treningu wysokogórskiego jako elementu kształtującego zdolności kondycyjne sportowców. *Kultura Bezp. Nauka-Praktyka-Refleksje*, 24: 46-73.
14. Angielski S., Jakubowski Z., Dominiczak M. H. (1996). *Biochemia kliniczna*, Wyd. Perseusz, Gdańsk, 44-78.
15. Arseneau E., Mekary S. Léger L.A. (2011). VO₂ requirements of boxing exercises. *J. Strength. Cond. Res.*, 25: 348–359.
16. Ashenden M. J., Gore Ch. J., Dobson G. P. Hahn A. G.. (1999). „Live high, train low” does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3000 m for 23 nights. *Eur J Appl Physiol*, 80: 479-484.
17. Ashenden M. J., Gore Ch. J., Martin D. T., Dobson G. P., Hahn A. G. (1999). Effects of a 12-day “live high, train low” camp on reticulocyte production and haemoglobin mass in elite female road cyclists, *Eur J Appl Physiol*, 80: 472-478.
18. Aulin K. P., Svedenhag J., Berglund W. B., Saltin B. (1998). Short-term intermittent normobaric hypoxia - haematological, physiological and mental effects, *Scand J Med Sci Sports*, 8: 132-137.
19. Bakońska-Pacoń E. (2006). Creatine clearance and 24-h creatinine excretion profile in the urine of people after physical exercises. *Biology of Spor*, 23 (1): 157-170.
20. Bakońska-Pacoń E. (2014b). Równowaga kwasowo-zasadowa i elektrolitowa w diagnostyce efektów treningu, (W:) Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 130-144.
21. Bakońska-Pacoń E. (2014a). Wybrane uniwersalne zagadnienia biochemicznej diagnostyki efektów treningu, (W:) Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 110-127.
22. Bar-Or O. (1987). The Wingate anaerobic test: update on methodology, reliability and validity. *Sports Med*, 4: 381-394.
23. Bailey D. M., Davies B., Baker, J. (2000). Training in hypoxia: Modulation of metabolic and cardiovascular risk factors in elite endurance athletes. *J of*

- Applied Physiology, 89(4): 1401-1411. DOI: 10.1097/00005768-200006000-00004.
24. Beidleman, B. A., Muza, S. R., Fulco, C. S., Jones, J. E., Lammi, E., Staab, J. E., Cymerman, A. (2009). Intermittent Hypoxic Exposure Does Not Improve Endurance Performance at Altitude. *Med. Sci. Sports Exerc*, 41: 1317–1325.
 25. Benitez-Sillero J., Perez-Navero L., Tasset I. I. wsp. (2011). Cardiorespiratory fitness and oxidative stress: effect of acute maximal aerobic exercise in children and adolescents. *J Sports Med Phys Fitness*, 51: 204-210.
 26. Berger N. J., Campbell I. T., Wilkerson D. P., Jones A. M. (2006). Influence of acute plasma volume expansion on VO₂ kinetics, VO₂ peak, and performance during high-intensity cycle exercise. *J of Applied Phys*, 101(3): 707-714.
 27. Bergstain J. M. (1999). A practical approach to proteinuria. *Ped Nephrology*, 13: 697-700.
 28. Birch K., MacLaren D., George K. (2008). Fizjologia sportu, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
 29. Blažević S., Širić V., Matas A. (2008). Factor structure of boxer's motor abilities. *Acta Kinesiologica*, 2: 30-36.
 30. Bompa T. (1990). Cechy biomotoryczne i mechanika ich rozwoju, Resortowe Centrum Metodyczno - Szkoleniowe Kultury Fizycznej i Sportu, Warszawa.
 31. Bonetti, D. L., Hopkins, W. G. (2009). Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: A meta-analysis. *Sports Med*, 39(2): 107-127. DOI: 10.2165/00007256-200939020-00002.
 32. Bonetti D. L., Hopkins W. G., Kilding A. E. (2006). High-Intensity Kayak Performance after Adaptation to Intermittent Hypoxia. *Int. J. Sports Physiol. Perform*, 1, 246–260.
 33. Borkowski J. (2014). Energetyka wysiłków (W:) Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 12-28.
 34. Bouzid M. A., Hammanoda O., Matran R., Robin S., Fabre C. (2015). Influence of physical fitness on antioxidant activity and malondialdehyde level in healthy older adults, *Appl Physiol Nutr Metal*, 40(6): 582-589.
 35. Brocherie F., Girard O., Faiss R., Millet G. P. (2015). High-intensity intermittent training in hypoxia: A double-blinded, placebo-controlled field

- study in youth football players. *J. Strength Cond. Res.* 2015, 29, 226–237.
36. Brocherie F., Girard O., Millet G. P. (2017). Effects of hypoxic interval training on running economy, mechanics, and performance. *Sports Med*, 47(2): 305-318. DOI: 10.1007/s40279-017-0685-3.
 37. Brugniaux J. V., Schmitt L., Robach P., Nicolet G., Fouillot J-P., Moutereau S., Lasne F., Pialoux V., Saas P., Chorvot M.-C., Cornolo J., Olsen N. V., Richalet J. P. (2006). Eighteen days of "living high, training low" stimulate erythropoiesis and enhance aerobic performance in elite middle-distance runners, *J Appl Physiol*, 100:203-211, DOI:10.1152/jappphysiol.00808.2005
 38. Chaabène H., Tabben M., Mkaouer, B., Franchini E., Negra Y., Hammami M. Amara S. Chaabène, R. B., Hachana, Y. (2014). Amateur Boxing: Physical and Physiological Attributes. *Sports Med.*, 45: 337-352.
 39. Chatterjee P., Banerjee A.K., Majumdar P. (2006). Changes in physiological profile of Indian women boxers during a six week training camp. *Int J of Applied Sports Science*, 18(2): 39–49.
 40. Chick T. W., Stark D. M., Murata G. H. (1993). Hyperoxic training increases work capacity after maximal training at moderate altitude, *Chest*;104;1759-1762.
 41. Clark S. A., Aughey R. J., Gore Ch. J., Hahn A. G., Townsend N. E., Kinsman T. A., Chow Ch-M., McKenna M. J., Hawley J. A. (2004). Effects of live high, train low hypoxic exposure on lactate metabolism in trained humans, *J Appl Physiol* 96:517-525, DOI:10.1152/jappphysiol.00799.2003.
 42. Clarkson P. M., Kearns A. K., Rouzier P., Rubin R., Thompson P. D. (2006). Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage. *Med and Science in Sports and Exercise*, 38 (4): 72-79.
 43. Claude A. i wsp. (2021). Eurofit. Europejski Test Sprawności Fizycznej. Kraków: AWF.
 44. Colleen G. J., Gore Ch. J., Wilber R. L., Daniels J. T., Fredericson M., Stray-Gundersen J., Hahn A. G., Parisotto R., Levine B. D. (2004). Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners, *J Appl Physiol*, 96:1800-1807, DOI:10.1152/jappphysiol.00969.2003.

45. Connett R., Gayeski T., Honig C. (1990). Defining hypoxia: a system view of VO₂, glycolysis, energetic and intercellular PO₂ in a working red muscle in situ. *J. Appl. Physiol.*, 68: 833-842.
46. Costill D. L., Maglischo E. W., Richardson A. B. (1996). *Handbook of Sports Medicine and Science – Swimming*, Blackwell Science Ltd., Oxford.
47. Craig F. (1972). Oxygen uptake at the beginning of work, *J. Appl. Physiol.*, 33: 611-615.
48. Czerwinecki L. (2009). Współczesne poglądy na rolę przeciwutleniaczy roślinnych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Rocz. PZH*, 2, 60: 201–206.
49. Czuba M., Waskiewicz Z., Zając A., Poprzeczki S., Cholewa J., Rocznik R. (2011). The Effects of Intermittent Hypoxic Training on Aerobic Capacity and Endurance Performance in Cyclists, *J. Sports Sci. Med.*, 10: 175-183.
50. Czuba M., Zając A., Maszczyk A., Rocznik R., Poprzeczki S., Garbaciak W., Zając T. (2013). The Effects of High Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia on Aerobic Capacity in Basketball Players. *J. Hum. Kinet.*, 39, 103–114.
51. Čepulėnas A., Bružas V., Mockus P., Subačius V. (2011). Impact of physical training mesocycle on athletic and specific fitness of elite boxers, *Archives of Budo. Scien of Martial Arts*, 7,1: 33-39.
52. Davis P., Leithäuser R.M., Beneke R. (2014). The energetics of semicontact 3 × 2-min amateur boxing. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(2): 233–9.
53. Davis P., Wittekind A., Beneke R. (2013). Amateur boxing: Activity profile of winners and losers. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(1):84–91.
54. Dembińska-Kieć A., Naskalski J. (2002). *Diagnostyka laboratoryjna z elementami biochemii klinicznej*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław.
55. Demirkan E, Koz M, Kutlu M, Favre M. (2015). Comparison of physical and physiological profiles in elite and amateur young wrestlers. *J Strength Cond Res*, 29(7): 1876–1883.
56. Depa W. (2008). *Boks: kompendium wiedzy*, ABW Graf, Kraków.
57. Dobosz J. (2012). *Tabele punktowe testów Eurofit, Międzynarodowego i Coopera dla uczniów i uczennic szkół podstawowych [Tabele testów T-score dla uczniów szkół podstawowych Eurofit, ICSPFT i Coopera]*, AWF, Warszawa.

58. Dufor S. P., Ponsot E., Zoll J., Doutreleau S., Lonsdorfer-Wolf E., Geny B., Lampert E., Flück M., Hoppeler H., Billat V. L. i wsp. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. I Improvement in aerobic performance capacity. *J. Appl. Physiol.*, 100: 1238-1248.
59. Durjasz M. (2012). Technika boks, Wyd. M. Durjasz, Warszawa.
60. El-Ashker S., Nasr M. (2012). Effect of boxing exercises on physiological and biochemical responses of Egyptian elite boxers, *J of Phys Edu and Sport* ® (*JPES*), 12(1), 18: 111 - 116.
61. Etheridge T., Atherton P. J., Wilkinson D., Selby A., Rankin D., Webborn N., Smith, K., Watt P. W. (2011). Effects of hypoxia on muscle protein synthesis and anabolic signaling at rest and in response to acute resistance exercise. *Am. J. Physiol. Metab.*, 301, E697–E702.
62. Evans M.D., Dizdaroglu M., Cooke M.S. (2004). Oxidative DNA damage and disease: induction, repair and significance. *Mutat Res*; 567(1): 1-61.
63. Faiss R., Girard O., Millet G.P. (2013a) Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *British J of Sports Med*, 47, 145-150.
64. Faiss R., Léger B., Vesin J.-M., Fournier P.-E., Eggel Y., Dériaz O., Millet G. P. (2013). Significant Molecular and Systemic Adaptations after Repeated Sprint Training in Hypoxia. *PLoS ONE*, 8, 52-56.
65. Fehrenbach E., Northoff H. (2001). Free radical, exercise, apoptosis and heat shock proteins. *Exercise Immunology Rev*, 7: 66-89.
66. Fortuna M. (2008). Podstawy kształtowania i kontroli zdolności wysiłkowej tlenowej i beztlenowej, Kolegium Karkonowskie w Jeleniej Górze, Jelenia Góra.
67. Geiser J., Vogt M., Billeter R., Zuleger C., Belforti F., Hoppeler H. (2001). Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *Int J of Sports Med*, 22, 579-585.
68. Ghosh A. K., Rate H. (2010). Oxygen Consumption and Blood Lactate Responses During Specific Training in Amateur Boxing, *Int J of Applied Sports Sciences*, 22, 1, 1-12.
69. Gore Ch. J., Rodríguez F. A., Truijens M. J., Townsend N. E., Stray-Gundersen J., Levine B. D. (2006). Increased serum erythropoietin but not red cell production after 4 wk of intermittent hypobaric hypoxia (4,000–5,500 m),

- J Appl Physiol*, 101:1386-1393, DOI:10.1152/jappphysiol.00342.2006.
70. Górski J. (2015). Podstawy fizjologii wysiłku, W: Fizjologia wysiłku i treningu fizycznego, red. nauk. J. Górski, PZWL, Warszawa, 15-85.
 71. Gradopołow K. (2012). Boks, SiT, Warszawa.
 72. Grygorowicz M., Głowacka A., Wiernicka M., Kamińska E. (2010). Kompleksowa ocena fizjoterapeutyczna podstawą profilaktyki pierwotnej urazów sportowych. *Nowiny Lek*, 79, 3: 240-244.
 73. Grzeńska A. (2003). Planowanie procesu treningowego w Ju-jitsu sportowym, (W): S Sterkowicz, T. Ambroży (red.): Ju-jitsu sportowe: proces szkolenia (podręcznik trenera). *Eur, Assoc for Security*, Kraków, 117-126.
 74. Grzywacz T., Sitkowski D. (2009). Hipoksja w teorii i praktyce. Modele treningu wysokościowego: Międzynarodowe Sympozjum Colorad Springs. *Sport Wycz: teoria i praktyka*, 47, 4: 199-209.
 75. Guidetti L., Musulin A., Baldari C. (2002). Physiological factors in middleweight boxing performance. *J of Sports Med and Phys Fitness*, 42(3): 309-314.
 76. Hadžović - Džuvo1 A., Valjevac A., Lepara O., Pjanić S., Hadžimuratović A., Mekić A. (2014). Oxidative stress status in elite athletes engaged in different sport disciplines, *Bosn J Basic Med Sci*, 14 (2): 56-62.
 77. Hamlin M.J., Hellemans J. (2004). Effects of intermittent normobaric hypoxia on blood parameters in multi-sport endurance athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*, 36: 337.
 78. Hamlin M.J., Marshall H.C., Hellemans J., Ainslie P.N., Anglem N. (2010). Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30s anaerobic performance. *Scandinavian J of Med & Science in Sports* 20: 651-661. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2009.00946.x.
 79. Hamlin M. J., Olsen P. D., Marshall H. C., Lizamore C. A., Elliot C. A. (2017). Hypoxic repeat sprint training improves rugby players's repeated sprint but not endurance performance. *Front. Physiol.*, 7: 8-24.
 80. Hatmaker M., Werner (2004). *Boxing Mastery: Advanced Technique Tactics and Strategies from the Sweet Science*, Tracks Publishing, Sasn Diego, California.

81. Hendriksen, I. J., Meeuwsen, T. (2003). The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: A cross-over study in humans. *Eur. J. Appl. Physiol*, 88, 396–403. DOI 10.1007/s00421-002-0708-z.
82. Henning J., Netter P., Voigt K. (2000). Mechanisms of changes in lymphological stress. *Z Rheumtol*, 59, Suppl 2, 43-48.
83. Hogan R. D., Smith M.G. (1994). Pulmonary ventilation in relation to oxygen uptake and carbon dioxide production during incremental load work. *Int J of Sports Med*, 5: 193–197.
84. Hübner-Woźniak E., Kosmol A., Błachnio D. (2011). Anaerobic capacity of upper and lower limbs muscles in combat sports contestant J. *Combat. Sports Martial Arts*, 2: 91-94.
85. Hübner-Woźniak E., Lutosławska G., Gajewski J. (2004). The effect of training on the activity of creatine kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LD) and uric plasma of elite boxers. *Hum. Mov.*, 5: 89-94.
86. Inbar O., Bar-Or O. (1986). Anaerobic characteristics In Male children and adolescents. *Med & Science in Sports & Exercise*, 18 (3): 264-269.
87. Jackson MJ, McArdle A. (2011). Age-related changes in skeletal muscle reactive oxygen species generation and adaptive responses to reactive oxygen species. *J Physiol*. May 1;589(Pt 9): 2139-2145.
88. Jagier A., Nazar K., Dziak A. (2013). *Medycyna sportowa*, PZWL, Warszawa.
89. Jastrzębska A. (2014). *Wydolność fizyczna, (W:) Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej*, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 1-11.
90. Jouffroy R., Lebreton X., Mansencal N., Anglicheau D. (2019). Acute kidney injury during an ultra-distance rau. *Plos One*, 14(9): e0222544.
91. Jung W-S, Kim S-W, Park H-Y. (2020). Interval Hypoxic Training Enhances Athletic Performance and Does Not Adversely Affect Immune Function in Middle- and Long-Distance Runners. *Int J Environ Res Public Health*, 17(6): 1934. DOI: 10.3390/ijerph17061934.
92. Kalač R., Gontarev S. (2014). Relations of basic and specific motor abilities in boxers. *Res. Kinesiol.*, 42: 122-127.
93. Karpiński D. (2020a). *Elementarz boksu, My Wojownicy*, Wrocław.
94. Karpiński D. (2020b). *Propedeutyka boksu, My Wojownicy*, Wrocław.

95. Katayama K., Matsuo H., Ishida K., Mori S., Miyamura M. (2003). Intermittent Hypoxia Improves Endurance Performance and Submaximal Exercise Efficiency. *High. Alt. Med. Biol.*, 4: 291–304.
96. Katayama K., Sato K., Matsuo H., Ishida K., Iwasaki K., Miyamura M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes, *Eur J Appl Physiol*, 92: 75–83. DOI 10.1007/s00421-004-1054-0.
97. Katayama K., Sato K., Matsuo H., Ishida K., Iwasaki K.-I., Miyamura M. (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92: 75–83.
98. Katayama K. Sato Y., Morotome Y., Shima N., Ishida K. [1999]. Ventilatory chemosensitive adaptations to intermittent hypoxic exposure with endurance training and detraining. *J Appl Physiol*, 86:1805-1811.
99. Kochański B., Kałużna A., Kałużny K., Wołowiec Ł, Leoniuk J., Hagner-Derengowska M., Zukow W., Hanger W. (2015). Ocena funkcjonowania osób trenujących boks z wykorzystaniem testu Functional Movement Screen (FMS). *Journal of Education. Heal and Sport*, 5 (10): 19-28.
100. Kokot F. (2005). Gospodarka wodno-elektrolitowa i kwasowo-zasadowa w stanach fizjologii i patologii, PZWL, Warszawa.
101. Kokot F., Franek E. (2015). Zaburzenia gospodarki wodno-elektrolitowej i kwasowo-zasadowej, PZWL, Warszawa.
102. Konopka M., Broksator W. (2020). Sport i wysiłek fizyczny jako przyczyny niekorzystnych zdarzeń sercowo-naczyniowych. *Med. Po Dyplomie*, 10.
103. Koumenis C. (2006). “Translating” Tumor Hypoxia: Unfolded Protein Response (UPR)-Dependent and UPR-Independent Pathways. *Mol. Cancer Res.*, 4: 423–436.
104. Kozłowski S., Nazar K. (1999). Wprowadzenie do fizjologii klinicznej, PZWL, Warszawa.
105. Kwiecień S, Jasnos K, Magierowski M, Sliwowski Z, Pajdo R, Brzozowski B, Mach T, Wojcik D, Brzozowski T. (2014). Lipid peroxidation, reactive oxygen species and antioxidative factors in the pathogenesis of gastric mucosal lesions and mechanism of protection against oxidative stress - induced gastric injury. *J Physiol Pharmacol*, 65(5): 613-622.

106. Lahti J. (2016). Sports analysis, training considerations and applied methods for mixed martial arts. Jyväskylä: University of Jyväskylä.
107. Lech G, Tyka A, Pałka T, Krawczyk R. (2010). Effect of physical endurance on fighting and the level of sports performance in junior judokas. *Arch Budo*, 6: 1–6.
108. Lenetsky S. (2019). Defining the Phases of Boxing Punches: A Mixed – Method Approach. *The J. of Strength and Conditioning Research*; 34(4):1. DOI:10.1519/JSC.0000000000002895.
109. Levine B. D., Stay-Gundersen J. (2006). Dose-response of altitude training: How much altitude is enough? In *Atherosclerosis*, Springer, New York, 2006, 233-247.
110. Levine BD, Stray-Gundersen J (1997). „Living high-training low”: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol*. 83:102-112.
111. Lopes-Silva J. P., Franchini E. (2021). CHAPTER 2 Developing anaerobic power and capacity for combat sports athletes, *Revista de Artes Marciales Asiáticas*, 16: 60-85. DOI: 10.18002/rama.v16i1s.7001.
112. Maduzia D., Matuszczyk A., Ceranowicz D., Warzecha Z., Ceranowicz P., Fyderek K., Galzk K., Dembiński A. (2015). The influence of pretreatment with ghrelin on the development of acetic-acid- induced colitis in rats. *J. Physiol Pharmacol*, 66(6): 875-885.
113. Maffetone P. (2021). Trening wytrzymałościowy. Jak budować wydolność i szybkość bez przetrenowania i kontuzji, Galaktyka, Łódź.
114. McCarthy D.A., Perry J.D., Melsom R.D., Dale M.M. (1987). Leucocytosis induced by exercise. *Br Med J*, 295(6599):636. DOI: 10.1136/bmj.295.6599.636.
115. McCarthy D.A., Dale M.M. (1988). The leucocytosis of exercise. A review and model. *Sports Med*, 6 (60): 333-363.
116. McLean S. R. Kolb J. C., Norris S. R., Smith D. J. (2006). Diurnal normobaric moderate hypoxia raises serum erythropoietin concentration but does not stimulate accelerated erythrocyte production, *Eur J Appl Physiol*, 96: 651–658, DOI 10.1007/s00421-005-0125-1.

117. Migasiewicz J. (2006). Wybrane przejawy sprawności motorycznej dziewcząt i chłopców w wieku 7–18 lat na tle ich rozwoju morfologicznego. AWF, Wrocław.
118. Millet G. P., Debevec, T. (2020). Hypoxic training and team sports: A critical review of current evidence and perspectives. *Sports Med.*, 50(4), 509-524.
119. Millet G.P., Roels B., Schmitt L., Woorons X., Richalet J.P. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Med*, 40 (1): 1-25.
120. Miyazaki H., Oh-Ishi S., Okawara T. (2001). Strenuous endurance training In humans reduces oxidative stress following exhausting exercise, *Eur J of Applied Physiology*, 84: 1-6.
121. Murawska-Ciałowicz E. (2014). Wyсіłek fizyczny a stres oksydacyjny, (W:) Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 29-39.
122. Must A., Anderson S.E. (2006). Body mass index in children and adolescents: considerations for population-based applications. *Int Job Obens* (London), 30(4): 590-594. DOI: 10.1038/sj.ijo.0803300.
123. Naglak Z. (1999). *Metodyka trenowania sportowca*, AWF, Wrocław.
124. Nguyen M. T., Devarajan P. (2008). Biomarkers for the early detection of acute kidney injury. *Pediatr Nephrd*, 23(12): 2151-2157.
125. Nielsen F. H., Lukarski H. C. (2006). Update on the relationship between magnesium and exercise, *Magn Res*, 19 (3): 180-189.
126. Nowak T. (2008). *Boks – technika, metodyka nauczania*, Wyd. AWF, Warszawa.
127. Nowak W., Mizerski M., Durjasz D. (1983). *Boks*, AWF, Warszawa.
128. Ogita F. (2006). Energetics in competitive swimming and its application for training. In *Biomechanics and Medicine in Swimming*; Vilas-Boas, J.P., Alves, F., Marques, A., Eds.; Porto Faculdade de Desporto da Universidade do Porto: Porto, Portugal, 6, 117–121.
129. Osiński W. (2013). *Antropomotoryka*, AWF, Poznań.
130. Ozdil G., Oktay Cakmakci O. (2016). The effect of power trainings on maximal power and anaerobic power in boxer, *Turkish J of Sport and Exercise*, 18, 3: 18-23.

131. Ozimek M, Ambroży T. (2016). *Periodyzacja przygotowania sportowców. Rozwiązania programowe na przykładzie lekkoatletycznego sprintu*, WSBPI „Apeiron”, Kraków.
132. Ozimek M., Szmatlan-Gabryś U. (2001). Analiza systemów rejestracji obciążeń treningowych stosowanych w sporcie lekkoatletyczny, *Atletica* 2001. Zbornik Z Medzinarodnej Konferencie Banska Bystrica: 136-145.
133. Panth N, Paudel KR, Parajuli K. (2016). Reactive Oxygen Species. A Key Hallmark of Cardiovascular Disease. *Adv Med*, 91: 527-532.
134. Park H-Y, Lim K. (2017). Effects of Hypoxic Training versus Normoxic Training on Exercise Performance in Competitive Swimmers. *J Sports Sci Med*, 16(4): 480-488.
135. Pingitore A, Lima GPP, Francesca Mastorci F, i wsp. (2015). Exercise and oxidative stress: Potential effects of antioxidant dietary strategies in sports. *Nutrition*, 31: 916–922.
136. Poole D. C., Richardson R.S. (1997). Determinants of oxygen uptake – implications for exercise testing, *Sports Med*, 24 (5): 308-320.
137. Poortmans J. R. (1984). Exercise and renal function. *Sports Med*, 1, 125-153.
138. Puype J., Van Proeyen K., Raymackers J. M., Deldicque L., Hespel P. (2013). Sprint Interval Training in Hypoxia Stimulates Glycolytic Enzyme Activity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 45, 2166–2174.
139. Raczek J., Mynarski W. (1992). *Koordinacyjne zdolności motoryczne dzieci i młodzieży*, AWF, Katowice.
140. Rodriguez F.A., Truijens M.J., Townsend N.E., Martini E.R., Stray-Gundersen J. (2004). Gore, C.J.; Levine, B.D. Effects of four weeks of intermittent hypobaric hypoxia on sea level running and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36: 338.
141. Romero F.J., Bosch-Morell F., Romero M.J., Jareño E.J., Romero B., Marín N., Romá J. (1998). Lipid peroxidation products and antioxidants in human disease. *Environ Heal Perspect*, 106 (Suppl 5): 1229-1234.
142. Rooney M. (2008). *Training for warriors. The ultimate mixed martial arts workout*. New York, NY: HarperCollins.
143. Ruddock A., James L., French D., Rogerson D., Driller M., Hembrough D. (2021). High-Intensity Conditioning for Combat Athletes: Practical Recommendations. *Appl. Sci.* 11, 10658, 1-14, DOI.org/10.3390/app

112210658.

144. Rzepko M., Drozd S., Król P., Bajorek W., Czarny W., Błach W., Cardoso A.F.A.C. (2014). Importance of visualization to postural stability in amateur boxers, Ido Movement for Culture. *J of Martial Arts Anth*, 14: 23-28.
145. Sanchez A M J, Borrani F. (2018). Effects of intermittent hypoxic training performed at high hypoxia level on exercise performance in highly trained runners. *J. Sports Sci*, 2018, 36: 2045–2052.
146. Saunders P. U., Telford R. D., Pyne D. B., Cunningham R. B., Gore C. J., Hahn A. G, Hawley J. A. (2004). Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure, *J Appl Physiol*, 96:931-937, DOI:10.1152/jappphysiol.00725.2003.
147. Savourey G., Garcia N., Caravel J. P., Gharib C., Pouzeratte N., Martin S., Bittel J. (1998). Pre-adaptation, adaptation and de-adaptation to high altitude in humans: hormonal and biochemical changes at sea level, *Eur J Appl Physiol*, 77: 37-43.
148. Schick M.G., Brown L.E., Coburn J.W., Beam W.C., Schick E.E., Dabbs N.C. (2010). Physiological profile of mixed martial artists. *Med Sportiva*, 14(4): 182–187.
149. Schmitt L., Millet G. Robach P., Nicolet G., Brugniaux J. V., Fouillot J-P., Richalet J-P. (2006). Influence of “living high–training low” on aerobic performance and economy of work in elite athletes, *Eur J Appl Physiol*, 97: 627–636 DOI 10.1007/s00421-006-0228-3.
150. Shabb A, Neser A. (2021). The Effect of Hypoxia Training Using Special Masks on the Development of Some Physiological Variables and the skillful Performance of Boxers with Weights (69-75). *Ann of R.S.C.B*, 25, 4: 11956-11961.
151. Slimani M., Chaabene H. Miarka B., Franchini E., Chamari K., Cheour F. (2017). Kickboxing review: Anthropometric, psychophysiological and activity profiles and injury epidemiology. *Biol Sport*, 34: 185-196.
152. Słowińska-Lisowska M. (2010). O wysiłku fizycznym, (W:) Endokrynologia wysiłku fizycznego sportowców. Z zarysem endokrynologii ogólnej, *MedPharm Pol*, Warszawa, 9-15.

153. Smith M, Dyson R, Hale T et al. (2001). The effects of restricted energy and fluid intake on simulated amateur boxing performance. *Int J of Sport Nutrition and Exercise Met*, 11(2): 238–247.
154. Scheer V., Tiller N. B., Doutreleau S., Khodae M., Knechtle B., Pasternak A., Rojas-Valverde D. (2022). Potential Long-Term Health Problems Associated with Ultra-Endurance Running. *A Narrative Rev Sports Med*, 52(4): 725-740.
155. Schick M.G., Brown L.E., Beam W.C., (2010). Physiological profile of mixed martial artists. *Med Sport*; 14(4): 182-7.
156. Schneider C. D., De Oliveira A. R. (2004). Oxygen free radicals and exercise: mechanisms of synthesis and adaptation to the physical training. *Rev Brasileria de Med do Esporte*, 10: 314-318.
157. Smith M.S. (2006). Physiological profile of senior and junior England international amateur boxers. *J Sports Sci Med*: 74-89.
158. Sozański H. (red.) (1999). Podstawy teorii treningu sportowego, COS, Warszawa.
159. Starosta W. (1996). Koordynacja ruchowa człowieka, (W:) Motoryczność człowieka – jej struktura, zmienność uwarunkowania. Monografie. Podręcznik: Skrypty, 310.
160. Szmatlan-Gabryś U., Gabryś T., Ficek K. (2005). Wpływ wysokości 1450 i 3250 m n.p.m. na zmiany progów metabolicznych (LT i AT) u narciarzy alpejskich. *Ann UMCS*, LX, 543: 408-412.
161. Szopa J., Mleczko E., Żak S. (2000). Podstawy antropomotoryki. PWN, Warszawa–Kraków.
162. Szyszka K., Zembroń-Łacny A. (2000). O konieczności i skuteczności stosowania antyoksydantów u sportowców. *Borgis Nowa Med.*, 12.
163. Tanskanen M., Atalay M., Uusitalo A. (2010). Altered oxidative stress in overtrained athletes. *J Sports Sci*, 28. 309-317.
164. Tota Ł., Drwal T., Maciejczyk M., Szyguła Z., Pilch W., Pałka T., Lech G. (2014). Effects of Original Physical Training Program on Changes in Body Composition, Upper Limb Peak Power, and Aerobic Performance of a Mixed Martial Arts Fighter. *Med Sport*, 18(2), s. 78-83. DOI: 10.5604/17342260.1110317.
165. Tota Ł., Pilch W. Piotrowska A., Maciejczyk M. (2019). The Effects of Conditioning Training on Body Build, Aerobic and Anaerobic Performance in

- Elite Mixed Martial Arts Athletes. *J of Human Kinetics*, 70: 201-201, DOI: 10.2478/hukin-2019-0033 201.
166. Traczyk W.Z., Trzebski A. (2001). Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej. Wyd Lek PZWL, Warszawa.
167. Truijens M. J., Toussaint H. M., Dow J., Levine B. D. (2003). Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances, *J Appl Physiol* 94:733-743, DOI:10.1152/jappphysiol.00079.2002.
168. Ulatowski T. (1981). Teoria i metodyka sportu, Sport i Turystyka, Warszawa.
169. Ulatowski T. (1992). Teoria sportu T. I-II- kwartalnik Trening, Res. Centrum Metod.-Szkol. KFiS, Warszawa.
170. Valentino B., Esposito L.C., Fabozzo A. (1990). Electromyographis activity of a muscular group in movements specific to boxing. *J of Sports Med and Physical Fitness*, 29: 677–693.
171. Ventura N., Hoppeler H., Seiler R., Binggeli A., Mullis P., Vogt M. (2003). The Response of Trained Athletes to Six Weeks of Endurance Training in Hypoxia or Normoxia. *Int. J. Sports Med.*, 24, 166–172.
172. Vogt M., Puntchart A., Geiser J., Zuleger C., Billeter R., Hoppeler H. (2001). Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J. Appl. Physiol.*, 91, 173–182.
173. Watson T, Callister R, Taylor R i wsp. (2005). Antioxidant restriction and oxidative stress in short-duration exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 37: 63-71.
174. Ważny Z. (1981). Współczesny system szkolenia w sporcie wyczynowym, Wyd. Sport i Turystyka, Warszawa.
175. Wehrlin J. P., Zuest P., Hallén J., Marti B. (2006). Live high-train low for 24 days increases hemoglobin mass and red cell volume in elite endurance athletes, *J Appl Physiol* 100:1938-1945, DOI:10.1152/jappphysiol.01284.2005.
176. Wieczorek K. (1994). Kick-boxing podręcznik dla instruktorów, Siemiatycze.
177. Wierzbička-Damska (2014). Pomiary antropologiczne w kontroli efektów treningu, Testy fizjologiczne w ocenie wydolności fizycznej, red. nauk. M. Zatoń, A. Jastrzębska, PWN, Warszawa, 145-157.

178. Wierzbicka-Damska (2013). Zmiany wybranych wskaźników budowy i składu ciała oraz wydolności fizycznej pod wpływem różnych bodźców treningowych, *Studia i Monog*, AWF, 111.
179. Wilber R. (2007a). Live high + train low: thinking in terms of an optimal hypoxic dose. *Inter JI of Sports hysiology and Perfor*, 2: 223 – 239
180. Wilber R. (2007). Application od altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med & Scien in Sports & Exercise*, 39 (9): 1610-1624.
181. Withee E. D., Tippens K. M., Dehen R., Tibbitts D., Hanes D., Zwickey H. (2017). Effects of Methylsulfonylmethane (MSM) on exercise – induced oxidative stress, musck damage, and pain following a half – marathon a double-blind, randomieed, placebo-controlled trail, *J Int SOC Sports Nutr*, 21: 14-24.
182. WMADH (2000). World Medical Associatiom Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *J of the Amer Med Associantion*, 20: 3043-3045.
183. Wojtasik W., Szulc A., Kołodziejczyk M., Szulc A. (2015). Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka. *J of Educ Heal and Sport*, 5 (10): 350-372.
184. Wołkow N. Szamtlan-Gabryś U., Gabryś T. (2003). Hipoksja w treningu sportowym. Interwałowy trening hipokryczny. *Studia i Monografie*, 90.
185. Zabłocka A, Janusz M. (2008). Dwa oblicza wolnych rodników tlenowych, *Postepy HigMed Dosw*, 62: 118–124.
186. Zambraski E. J. (2006). The renal system (W:) ACSM’s Advanced Exercise Physiology. red. Ed. Ch. Tipton, American College of Sports Medicine, Lippincott W. And Wilkins, 521-533.
187. Zembroń-Łacny A, Szyszka K., Hübner-Woźniak E. (1999). The prooxidant-antioxidant balance in the blood of middle-distance runners, *Biol. Sport*, 16(1): 51-58.
188. Zhu H, Li YR. (2012). Oxidative stress and redox signaling mechanisms of inflammatory bowel disease: updated experimental and clinical evidence. *Exp Biol Med* (Maywood), 237(5): 474-480.
189. Ziemiński P. (2006). Kształtowanie zdolności motorycznych na przykładzie Kick-boxingu, *Ido – Ruch dla Kultury*, 6: 131-141.

190. Zoll J., Ponsot E., Dufour S., Doutreleau S., Ventura-Clapier R., Vogt M., Hoppeler H., Richard R., Flück M. (2006). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *J. Appl. Physiol.*, 100, 1258–1266.
191. Zuo L, Zhou T, Pannell BK, Ziegler A.C (2015). Best TM. Biological and physiological role of reactive oxygen species--the good, the bad and the ugly. *Acta Physiol (Oxf)*, 214(3): 329-348.
192. Żołądź J. A. (2008). Wydolność fizyczna człowieka, (W:) Fizjologiczne podstawy wysiłku fizycznego, red. nauk. Jan Górski, Wyd. Lek. PZWL, Warszawa 465-536.
193. Żyłka A., Gala-Błądzińska A., Rybak K., Dumnicka P., Drożdż R., Kuśmierz-Cabala B. (2015). Role of New biomarkers for the diagnosis of nephropathy associated with diabetes type 2. *Folia Med Cracov*, 55(4): 21-33.

Spis rycin

Ryc. I. Krzywa wysycenia hemoglobiny w zależności od ciśnienia cząstkowego tlenu [Jagier, Nazar i Dziak 2013]	38
Ryc. II. Modele treningu wysokościowego w niedotlenieniu wg Wilbera [2007] w modyfikacji Millera i wsp. [2010]	40
Ryc. III. Czynniki nasilające generację reaktywnych form tlenu [Szyszka i Zembroń-Łacny 2000]	43
Ryc. IV. Odbudowa zasobów ATP dla pracujących mięśni	45
Ryc. V. Schemat organizacji badań	51
Ryc. VI. Siła eksplozywna	54
Ryc. VII. Pomiar siły ręki	54
Ryc. VIII. Siła tułowia/wytrzymałość mięśni brzucha	55
Ryc. IX. Podciąganie na drążku	55
Ryc. X. Masa ciała zawodników przed treningiem i po treningu w warunkach hipoksji	62
Ryc. XI. Masa ciała zawodników przed treningiem i po treningu w warunkach normoksji	63
Ryc. XII. Szacowane średnie brzegowe dotyczące poziomu wskaźników w zależności od warunków prowadzenia programu treningowego oraz momentu pomiaru	65
Ryc. XIII. Średnie wartości parametrów erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	66
Ryc. XIV. Średnie (%) wartości parametrów hematokrytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	67
Ryc. XV. Średnie wartości parametrów retikulocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	68

Ryc. XVI. Średnie wartości parametrów hemoglobiny przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	69
Ryc. XVII. Średnie wartości parametrów leukocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku.....	70
Ryc. XVIII. Średnie wartości parametrów glutationu całkowitego dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	71
Ryc. XIX. Średnie wartości parametrów glutationu zredukowanego w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	72
Ryc. XX. Średnie wartości parametrów dysmutazy ponadtlenkowej w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	73
Ryc. XXI. Średnie wartości parametrów erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku.....	74
Ryc. XXII. Średnie wartości parametrów NGAL w ostatnim dniu po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	76
Ryc. XXIII. VO_{2max} (ml/kg/min) w warunkach normoksji i czas treningu.....	80
Ryc. XXIV. VO_{2max} (ml/min) w warunkach hipoksji i czas treningu	83
Ryc. XXV. VO_{2max} (ml/min) w warunkach normoksji i czas treningu.....	83
Ryc. XXVI. HR max w warunkach hipoksji i czas treningu	83
Ryc. XXVII. HR max w warunkach normoksji i czas treningu	84
Ryc. XXVIII. Wentylacja płuc (L/min) w warunkach hipoksji i czas treningu	84
Ryc. XXIX. Wentylacja płuc (L/min) w warunkach normoksji i czas treningu.....	84

Ryc. XXX. Statystyki opisowe stosunek mocy szczytowej do masy ciała (W/kg) przed i po treningu w warunkach hipoksji	98
Ryc. XXXI. Statystyki opisowe stosunek mocy szczytowej do masy ciała (W/kg) przed i po treningu w warunkach normoksji.....	99
Ryc. XXXII. Zależność mocy średniej oraz warunków otoczenia a czas przed treningiem i po treningu w hipoksji	99
Ryc. XXXIII. Zależność mocy średniej oraz warunków otoczenia a czas przed treningiem i po treningu w normoksji.....	99
Ryc. XXXIV. Stosunek mocy średniej do masy ciała w warunkach hipoksji przed i po treningu	100
Ryc. XXXV. Indeks zmęczenia warunkach hipoksji a czas treningu.....	101
Ryc. XXXVI. Indeks zmęczenia warunkach normoksji a czas treningu	102
Ryc. XXXVII. Praca (kJ) a hipoksja i czas treningu	102
Ryc. XXXVIII. Praca (kJ) a normoksja i czas treningu.....	102
Ryc. XXXIX. Czas uzyskania mocy max (s) a hipoksja i czas treningu	103
Ryc. XL. Czas uzyskania mocy max (s) a hipoksja i czas treningu.....	103

Spis tabel

Tabela 1. Elementy techniki w boksie [Durjasz 2012; Ambroży i wsp. 2015]	17
Tabela 2. Treść makrocyklu treningowego w boksie.....	20
Tabela 3. Dozowanie i metody treningu siłowego [Ulatowski 1981; Ziemiński 2006]	24
Tabela 4. Niektóre czynniki przyspieszające przemiany tlenowe	29
Tabela 5. Kryteria włączenia i wyłączenia	49
Tabela 6. Wskaźniki somatyczne badanych.....	52
Tabela 7. Schemat budowy pojedynczej jednostki treningowej (wytrzymałość-szybkościowa).....	58
Tabela 8. Schemat budowy pojedynczej jednostki treningowej (siła).....	58
Tabela 9. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników dot. składu ciała	61
Tabela 10. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie do uwzględnionych wskaźników	64
Tabela 11. Parametry erytrocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	66
Tabela 12. Parametry hematokrytu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	67
Tabela 13. Parametry retikulocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	68
Tabela 14. Parametry hemoglobiny dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	69
Tabela 15. Parametry leukocytów dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych	

warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	70
Tabela 16. Parametry glutationu całkowitego dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	71
Tabela 17. Parametry glutationu zredukowanego w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku.....	72
Tabela 18. Parametry dysmutazy ponadtlenkowej w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku.....	73
Tabela 19. Parametry MDA w osoczu dzień przed wysiłkiem, po wysiłku oraz w ostatnim dniu przed wysiłkiem i po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	74
Tabela 20. Parametry NGAL w moczu dzień ostatnim dniu po wysiłku w grupach badanych o różnych warunkach ciśnieniowych w ramach oceny stresu oksydacyjnego i adaptacji do wysiłku	75
Tabela 21. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie do uwzględnionych wskaźników	76
Tabela 22. Zmiany w wynikach czterech wskaźników fizycznych przed i po programie treningowym w grupie normoksji i hipoksji.....	78
Tabela 23. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników wydolnościowych przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji z uwzględnieniem czasu.....	80
Tabela 24. Statystyki opisowe odnoszące się do wskaźników wydolnościowych przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji z uwzględnieniem mocy.....	81
Tabela 25. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wybrane wskaźniki wydolnościowe na progu tlenowym u sportowców	82

Tabela 26. Wpływ treningu w warunkach hipoksji i normoksji na wskaźniki wydolnościowe na progu wentylacyjnym RC u sportowców	86
Tabela 27. Zmiany maksymalnych wskaźników wydolnościowych u sportowców w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym	88
Tabela 28. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na czas progu AT, czas progu RC oraz czas maksymalny	89
Tabela 29. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na prędkość/moc na progu AT, progu RC oraz na czas maksymalny	90
Tabela 30. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na wskaźniki fizjologiczne na progu AT	91
Tabela 31. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na wskaźniki fizjologiczne na progu RC	93
Tabela 32. Wpływ warunków treningowych i momentu pomiaru na maksymalne wskaźniki fizjologiczne.....	94
Tabela 33. Zmiany stężenia mleczanu w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym.....	96
Tabela 34. Porównanie wyników mocy szczytowej, średniej oraz mocy anaerobowej u zawodników w warunkach hipoksji i normoksji.....	98
Tabela 35. Porównanie parametrów wydolności anaerobowej przed i po programie treningowym w warunkach hipoksji i normoksji.....	101
Tabela 36. Rezultaty dwuczynnikowej analizy wariancji w modelu mieszanym odnośnie zmiany stężenia mleczanu w warunkach hipoksji i normoksji przed i po programie treningowym.....	104
Tabela 37. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na parametry mocy szczytowej, średniej i anaerobowej.....	106
Tabela 38. Wpływ warunków treningu i momentu pomiaru na pojemność anaerobową, indeks zmęczenia, pracę oraz czas uzyskania mocy maksymalnej	107