

AKADEMIA WYCHOWANIA FIZYCZNEGO
im. JERZEGO KUKUCZKI
W KATOWICACH

ŁUKASZ WOŁOWSKI

**EFEKTYWNOŚĆ ODDZIAŁYWANIA SERII ZABIEGÓW
CIEPLNYCH I KRIOSTYMULACJI CAŁEGO CIAŁA
NA OBCIĄŻENIE MECHANIZMÓW FIZJOLOGICZNYCH
ORAZ WYTRZYMAŁOŚĆ ZAWODNIKÓW
UPRAWIAJĄCYCH BIEGI NARCIARSKIE**

Rozprawa doktorska

Promotor

dr hab. Ilona Pokora, prof. AWF Katowice

Katowice 2022

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania
Pani dr hab. Ilonie Pokorze prof. AWF Katowice
za motywację, poświęcony czas oraz nieocenioną pomoc*

WYKAZ NAJCZĘŚCIEJ STOSOWANYCH SKRÓTÓW

BM – masa ciała

Tty – temperatura kanału słuchowego

Tsk – średnia ważona temperatura skóry

Tb – średnia temperatura ciała

HR – tętno

HRR – rezerwa tętna

MET – metaboliczny równoważnik energetyczny

TTW – całkowity czas wykonywania wysiłku

(Na⁺) – stężenie jonów sodowych

(Cl⁻) – stężenie jonów chlorkowych

(K⁺) – stężenie jonów potasowych

OSM – osmolalność osocza

TP – białko całkowite

NOR – noradrenalina

CORT – kortyzol

ALD – aldosteron

ALT – aminotransferaza alaninowa

AST – aminotransferaza asparaginianowa

CK – kinaza kreatynowa

LDH – dehydrogenaza mleczanowa

PV – objętość osocza

HCT – hematokryt

Hb – hemoglobina

RBC – krwinki czerwone

MCV – średnia objętość krwinek czerwonych

MCHC – średnie stężenie hemoglobiny w krwince

WBC – seria kriostymulacji całego ciała = aklimacja do zimna

WBH – seria kąpiele w saunie = aklimacja do ciepła

W – wysiłek testowy

R – restytucja powysiłkowa

SBP – ciśnienie skurczowe

DBP – ciśnienie rozkurczowe

MAP – średnie ciśnienie tętnicze

SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie i uzasadnienie wyboru tematu pracy	7
1.1.	Narciarstwo biegowe	8
1.2.	Wysiłek fizyczny jego cechy oraz następstwa wykonywania wysiłku fizycznego	9
1.3.	Celowość stosowania termicznych środków odnowy biologicznej w sporcie.....	9
1.4.	Mechanizmy działania, efekty fizjologiczne i dowody naukowe na poparcie celowości zastosowania terapii ciepłem i zimnem	10
1.4.1.	Działanie i zastosowanie ciepła oraz efekty towarzyszące stosowaniu kąpieli w saunie.....	10
1.4.2.	Działanie zimna na organizm i efekty kriostymulacji ogólnoustrojowej	12
2.	Cel pracy	16
2.1.	Pytania badawcze	16
2.2.	Hipotezy badawcze	16
3.	Materiał i metody	18
3.1.	Badani	18
3.2.	Procedura	18
3.2.1.	Badania wstępne.....	18
3.2.2.	Wysiłki testowe (W).....	19
3.2.3.	Zabiegi kriostymulacji (WBC)	20
3.2.4.	Zabiegi biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH).....	20
4.	Metody analizy statystycznej	22
5.	Wyniki.....	23
5.1.	Charakterystyka badanych	23
5.2.	Ocena oddziaływania regularnych 10 kąpieli w saunie i zabiegów kriostymulacji całego ciała.....	24
5.2.1.	Efekty działania WBH i WBC na parametry fizjologiczne w spoczynku.....	24
5.2.2.	Efekty działania WBH i WBC na parametry hematologiczne w spoczynku i po wysiłku	26
5.2.3.	Efekty działania WBC i WBH na stężenia wybranych elektrolitów w osoczu krwi w spoczynku	28

5.2.4.	Efekty działania WBC i WBH na aktywność wybranych enzymatycznych markerów mikrouszkodzeń w spoczynku i po wysiłku.....	29
5.2.5.	Efekty działania WBC i WBH na stężenie wybranych hormonów	31
5.3.	Porównanie cech reakcji organizmu na wysiłek fizyczny po serii zabiegów WBH i WBC	32
5.3.1.	Zastosowane serii zabiegów WBH i WBC.....	32
5.3.2.	Wpływ aklimatyzacji cieplnej i WBC na cechy obciążenia wysiłkiem fizycznym i zmiany ocenianych wskaźników fizjologicznych podczas stresu wysiłkowego	33
5.3.3.	Wpływ aklimatyzacji cieplnej i WBC na zmiany aktywności wybranych enzymów podczas stresu wysiłkowego i po jego zakończeniu	39
6.	Dyskusja.....	41
6.1.	Główne zmiany funkcjonalne i biochemiczne notowane po zastosowaniu interwencji termicznych w spoczynku.....	41
6.1.1.	Część szczegółowa.....	43
6.2.	Wpływ serii 10 zabiegów cieplnych i kriostymulacji całego ciała na aktywność wybranych enzymów tkankowych, stężenie hormonów i wybranych elektrolitów we krwi.....	52
6.2.1.	Indukowana działaniem serii zabiegów zimna, ciepła zmiany biochemiczne w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu.....	52
6.2.2.	Hormony i wysiłek	54
6.2.3.	Oddziaływania serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji na równowagę płynów ustrojowych	56
7.	Wnioski.....	60
8.	Piśmiennictwo	62
9.	Spis rycin	79
10.	Spis tabel.....	80
11.	Streszczenie.....	81
11.1.	Streszczenie w języku polskim	81
11.2.	Streszczenie w języku angielskim.....	83

1. WPROWADZENIE I UZASADNIENIE WYBORU TEMATU PRACY

Przesłaniem do przygotowania niniejszej pracy było pytanie o skuteczność oddziaływania serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji całego ciała na cechy funkcjonalne w spoczynku i obciążenia mechanizmów fizjologicznych podczas wysiłku fizycznego oraz wytrzymałość czasową sportowców, zawodników uprawiających narciarstwo biegowe.

Sportowcy stosują termoterapię z wykorzystaniem zimna czy ciepła w przekonaniu, że są to strategie poprawiające regenerację powysiłkową i sprzyjające lepszej adaptacji treningowej. Od dawna stosowane jest np. pasywne ogrzewanie w celu rozgrzania organizmu przed zawodami i/lub poprawy regeneracji powysiłkowej. Szczególnie, że dostępne dowody naukowe wskazują, że regularna ekspozycja na działanie ciepła może naśladować efekty treningu wytrzymałościowego oraz łagodzić atrofię mięśniową i ograniczać skutki wykonywania wysiłku. Również chłodzenie po wysiłku stało się popularną interwencją, która w założeniu może poprawiać regenerację funkcjonalną i adaptację treningową. Aby jednak skonsolidować wyniki licznych badań w tym zakresie wydało się zasadne porównanie efektywności ich stosowania u sportowców, koncentrując się na 2 głównych problemach związanych z przywracaniem homeostazy powysiłkowej i poprawy regeneracji po wysiłku, jako celowym działaniu zmierzającym do poprawy jakości sesji treningowych oraz poprawy odpowiedzi organizmu na stres wysiłkowy. W pracy skoncentrowano się na porównaniu wpływu serii zabiegów kriostymulacji oraz przegrzania całego ciała na wybrane cechy funkcjonalne i biochemiczne po zakończeniu wysiłku fizycznego u sportowców. W rozdziale pierwszym zdefiniowano cechy typowych reakcji na wysiłek fizyczny, stan wiedzy na temat najczęstszych konsekwencji podejmowania wysiłku u biegaczy narciarskich oraz działań zmierzających do ograniczenia negatywnych skutków podejmowanej aktywności fizycznej. W rozdziale drugim przedstawiono aktualne informacje na temat działania zimna i ciepła na organizm w tym oddziaływania krioterapii całego ciała (WBC) czy zabiegów przegrzania (WBH) i ich zastosowania w odnowie biologicznej u sportowców oraz typowych zmian osiąganych w wyniku aklimacji do stresora. W rozdziale trzecim przedstawiono stan badań, w których analizowano wspomniane oddziaływania w aspekcie poprawy funkcji systemowych i regeneracji organizmu ze wskazaniem korzyści osiąganych po ich stosowaniu w sporcie wytrzymałościowym.

W przeglądzie literatury nie natrafiono na badania, w których analizowano wspomniane oddziaływania u sportowców wraz z porównaniem ich efektywności. Dlatego też niniejsza dysertacja jest próbą porównania efektywności oddziaływania serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji całego ciała na obciążenie mechanizmów fizjologicznych oraz wytrzymałość u sportowców.

1.1. Narciarstwo biegowe

Na przestrzeni ostatnich stuleci naukowcy intensywnie badali reakcje fizjologiczne biegaczy narciarskich na wysiłek fizyczny, m.in., aby podjąć właściwe działania zmierzające do poprawy ich wytrzymałości. Uprawianie narciarstwa biegowego, wymaga dobrego przygotowania wydolnościowego, rozumianego przez wysoki poziom mocy tlenowej i beztlenowej, umiejętności rozwijania dużych prędkości i siły w krótkim czasie (*Undebakke i wsp., 2019*). Wysokiej klasy narciarze biegowi charakteryzują się wysokim poziomem wydolności tlenowej (pułapem tlenowym (VO_2max) powyżej 70 i 80 mL $kg^{-1} min^{-1}$ lub 4,0 i 6,0 L min^{-1} , odpowiednio u kobiet i mężczyzn) (*Sandbakk, 2017*). W makrocyklu treningowym biegacza wyróżnia się okres przejściowy, przygotowawczy i startowy. Sezon startowy sportów zimowych rozpoczyna się w grudniu i trwa aż do marca, a zawody odbywają się w zmiennych i trudnych warunkach, takich jak wysoka wilgotność powietrza czy skrajnie niskie temperatury otoczenia (*Tjønnås i wsp., 2019*). Wysiłek biegacza narciarskiego oparty jest przede wszystkim na energetyce tlenowej, która na długich dystansach stanowi około 90-95% całości wykorzystywanej energii (*Krasicki, 2010*). W przypadku sprintów narciarskich dominuje wysiłek na progu przemian beztlenowych (*Losnegard, 2019*). Z uwagi na podejmowanie przez biegaczy wysiłków o dużym obciążeniu w okresie startowym i przygotowawczym oraz krótkim okresem przejściowym przeznaczonym na regenerację sportowca, szczególnie znamieną wydaje się być szybka i sprawna regeneracja organizmu po wysiłku oraz usprawnienie procesu regeneracji.

W tym działaniu zastosowanie znalazły środki terapii zimnem czy ciepłem (*Halvorson i wsp., 1990*). W licznych przeglądach analizowano potencjalny wpływ ogrzewania (połączonego lub nie z chłodzeniem) na regenerację powysiłkową i adaptację treningową. W opracowaniu przeglądowym *Chaillou i wsp. (2022)* postulowano, że chłodzenie lub ogrzewanie może poprawiać lub pogarszać regenerację powysiłkową i adaptację treningową w zależności od typu wysiłku (ćwiczenia wytrzymałościowe, oporowe lub sprinterskie), ponieważ mechanizm zmęczenia wysiłkiem fizycznym, a tym samym potencjalne mechanizmy poprawy regeneracji, powinny być dopasowane do zadania wysiłkowego (*Allen i wsp., 2008*,

Cheng i wsp., 2018). Wskazani autorzy stwierdzili, że nadal niedostateczna jest liczba badań koncentrujących się na ocenie skuteczności chłodzenia i/lub ogrzewania organizmu oraz informacji, czy chłodzenie i/lub ogrzewanie jest szkodliwe czy korzystne dla regeneracji funkcji nerwowo-mięśniowych, odporności na zmęczenie, wydolności fizycznej i adaptacji treningowej.

1.2. Wysiłek fizyczny jego cechy oraz następstwa wykonywania wysiłku fizycznego

Jednym z głównych efektów towarzyszących wykonywaniu pracy fizycznej jest stres cieplny, wzrost tętna i postępujący spadek funkcji nerwowo-mięśniowych oraz krążeniowych. Wielkość stresu wysiłkowego i wynikające z niego odkształcenia funkcjonalne zależą od złożonej interakcji między czynnikami środowiskowymi (np. warunki otoczenia i ubranie) oraz cechami biologicznymi jednostki (np. stan aklimatyzacji, wielkość ciała, poziom wydolności fizycznej) oraz poziomu aktywności (np. tempo metabolizmu i czasu trwania wysiłku). Ponadto ćwiczenia, które odbywają się z dużą intensywnością lub trwają przez dłuższy czas, mogą powodować uszkodzenie mięśni, zwłaszcza, gdy obejmują ekscentryczne skurcze mięśniowe (*Tee i wsp., 2007; Pokora i wsp., 2014*). Wysiłek wytrzymałościowy to ćwiczenia indukujące stres metaboliczny w aktywnych mięśniach szkieletowych, któremu często towarzyszy wysokie tempo przemian energetycznych /głównie tlenowych/, wytwarzania ciepła, kumulacja metabolitów, hipertermia, odwodnienie i wyczerpanie glikogenu, co prowadzi do zmęczenia i zmniejszenia efektywności pracy organizmu (*MacInnis i Gibala, 2017*).

1.3. Celowość stosowania termicznych środków odnowy biologicznej w sporcie

Odnowa biologiczna jest kompleksowym oddziaływaniem na organizm człowieka naturalnych lub sztucznych środków i warunków środowiskowych, w celu optymalizacji fizjologicznych procesów wypoczynkowych, ochrony zdrowia oraz utrzymania lub podniesienia wydolności psychofizycznej sportowca (*Jonak i Skrzek, 2009*).

Odnowa biologiczna oparta na termoterapii, wykorzystuje bodźce naturalne dozowane w formie kąpiele w saunie, łaźnie, zabiegi ogrzewające oraz zabiegi oziębiające, hydroterapię i krioterapię (*Akerman i wsp., 2016*). Do metod fizykalnych powszechnie stosowanych w procesie regeneracji organizmu po obciążeniach treningowych należy kriostymulacja całego ciała (WBC – ang. whole body cryostimulation) (*Lubkowska i wsp., 2008; Lubkowska i wsp., 2010; Haussewirth i wsp., 2011; Lubkowska, 2012; Lombardi i wsp., 2017*) i kąpiele w saunie (*Scoon i wsp., 2007, Pilch i wsp., 2013, 2014, Pilch, 2022, Pokora i wsp., 2005, 2009, 2021*).

Metody regeneracji zostały w dużej mierze zbadane pod kątem ich zdolności do zwiększania szybkości usuwania mleczanu ze krwi po ćwiczeniach o dużej intensywności lub do zmniejszania ciężkości i czasu trwania uszkodzenia mięśni wywołanego wysiłkiem fizycznym i opóźnionej bolesności mięśni (DOMS). W zależności od czasu i kontekstu, interwencje te mogą być ukierunkowane na usprawnienie mechanizmów centralnych lub obwodowych (*Minett i Duffield, 2014*).

Celem ich stosowania w procesie odnowy biologicznej jest szybka rewitalizacja oraz poprawa sprawności i wydolności zawodnika pozwalająca na podjęcie wysokiej aktywności i wspomaganie procesu treningowego. W tych postępowaniach zastosowanie znalazła termoterapia z różną jednak zasadnością wykorzystania ciepła i zimna w celu poprawy funkcjonalnej organizmu i likwidowania niekorzystnych skutków wynikających z podejmowania aktywności fizycznej.

Celowe działanie terapeutyczne ciepłem i zimnem jest często stosowane w celu ułatwienia uzyskania takiego wyniku, pomimo powszechnych niejasności, co do tego, którą metodę (ciepło czy zimno) zastosować i kiedy (*Hyldahl i wsp., 2020*).

1.4. Mechanizmy działania, efekty fizjologiczne i dowody naukowe na poparcie celowości zastosowania terapii ciepłem i zimnem

1.4.1. Działanie i zastosowanie ciepła oraz efekty towarzyszące stosowaniu kąpeli w saunie

Ekspozycja organizmu na działanie wysokiej temperatury ma fizjologiczne, metaboliczne i hormonalne konsekwencje. Bierne ogrzewanie ciała może być rodzajem zamierzonego oddziaływania prowadzącego nie tylko do zmian termicznych ustroju, ale do współistniejących z nim zmian czynnościowych na poziomie narządów, tkanek czy komórek (*Pokora, 2009*). Wzrostowi temperatury ciała towarzyszy zmiana zawartości wody w organizmie i zwiększona sekrecja hormonów stresu (*Harrison, 1976; Brenner i wsp., 1997; Niess i wsp., 2003; Pilch i wsp., 2013*). Ponadto ze wzrostem ciepłoty ciała obserwuje się: zwiększenie częstości skurczów serca, wzrost ciśnienia tętniczego krwi, wykorzystania tlenu, zwiększa się tempo procesów metabolicznych, szczególnie wykorzystanie węglowodanów i produkcja mleczanu.

Regularne korzystanie z działania ciepła na organizm to sposób uzyskania i utrzymania wysokiego poziomu wydolności fizycznej. Zmiany przystosowawcze powstające w wyniku powtarzalnej ekspozycji na działanie ciepła mogą prowadzić do rozwoju aklimacji lub

aklimatyzacji. Oba te procesy dają się opisać, jako seria fizjologicznych zdarzeń, obejmujących te funkcje fizjologiczne, (adaptacja funkcjonalna) dzięki którym tolerancja stresu ciepła (i działania innych stresorów) przez organizm jest zwiększona (*Regan i wsp., 1996, Horowitz, 2003, 2007; Pokora, 2009; Pokora i wsp., 2021*).

Pozytywne efekty adaptacji do izolowanej biernej hipertermii (np. kąpiele w saunie) były obserwowane i wykorzystywane w sporcie, dla wspomagania przebiegu restytucji i regeneracji po wysiłku a także do poprawy wydolności fizycznej. Wśród oddziaływań cieplnych w których wykorzystywano efekty działania bodźca ciepła wymienia się kąpiele w saunie, podczas których na organizm człowieka oddziałują naprzemiennie ciepły i zimny bodziec cieplny (*Pilch i wsp., 2013*). Temperatura w saunie wynosi od 45°C do 120°C i oddziałuje na organizm przez 5-20 min (w zależności od rodzaju sauny), a wilgotność względna wynosi około 15% (*Scoon i wsp., 2007*). Kąpiel w saunie stanowi połączenie zabiegu przegrzania ciała przy zastosowaniu gorącego, suchego powietrza z okresowym, krótkim i następującym po nim zabiegu ochładzania ciała, za pomocą kąpiele w chłodnej wodzie (*Heinonen i Laukkanen, 2018*). Liczne badania donoszą o korzystnym wpływie sauny na organizm człowieka. Zalecana jest ona nie tylko w celu odprężenia i wypoczynku, ale także w niektórych chorobach układu oddechowego, chorobach zwyrodnieniowych stawów oraz nadciśnieniu tętniczym.

Aklimacja cieplna (HA) rozwija się podczas wielokrotnego, narażania organizmu na umiarkowane stresory i wywołuje zmiany biologiczne o charakterze przystosowawczym, które zmniejszają negatywne skutki oddziaływania stresu cieplnego na organizm. W dostosowaniach biologicznych pośredniczą zintegrowane zmiany w kontroli termoregulacji, równowagi płynów i odpowiedzi sercowo-naczyniowej (*Rahimi i wsp., 2019; Pokora i wsp., 2021*). Osiągane zmiany przystosowawcze mogą być szczególnie istotne dla sportowców uczestniczących w długich zawodach, takich jak maraton lub triathlon, w których wymaga się możliwości zachowania schematów treningowych przy minimalnym zakłóceniu funkcji ustrojowych. Doniesienia naukowe wskazują, że zmiany fenotypowe wytworzone pod wpływem aklimacji do ciepła (HA) charakteryzują się usprawnieniem mechanizmów utraty ciepła, utrzymaniem stabilnej temperatury wewnętrznej i centralnego ciśnienia krwi (*Karlsen i wsp., 2015; Keizer i wsp., 2015; Lorenzo i wsp., 2010*), poprawą wskaźników wydolności fizycznej: $VO_2\max$ (*Lorenzo i wsp., 2010, Sawka i wsp., 2011*), czasu wykonywania wysiłku (*Lorenzo i wsp., 2010; Garrett i wsp., 2012; Racinais i wsp., 2015*), wpływają na próg mleczanowy (*Lorenzo i wsp., 2010; Neal i wsp., 2015*) oraz na całkowity czas wykonywania wysiłku do wyczerpania. Stąd też aklimacja do ciepła (HA) jest ważną strategią przygotowania zawodników do stresu

wysiłkowego (*Périard i wsp., 2015; Racinais i wsp., 2015*). Wiele dowodów wskazuje, że poprawa funkcji systemowych po adaptacji (HA) może być wtórna m.in. związana ze zwiększeniem objętości osocza (PV) i mniejszą reaktywnością układu nerwowego na działanie stresorów. Zdaniem (*Sawka, i wsp., 1983; Casa i wsp., 2000*) zwiększenie objętości osocza poprawia ekonomikę wysiłku, objętość wyrzutową serca (SV), wpływa na częstość skurczów serca (HR) (*Lorenzo, i wsp., 2010*), oraz wydajność pracy mięśnia sercowego (*Horowitz i wsp., 1986*). Zwiększenie objętości osocza (PV) jest również bezpośrednio związane z poprawą procesu termoregulacji, stabilności sercowo-naczyniowej oraz zwiększeniem retencji płynów (*Garrett i wsp., 2012; Garrett i wsp., 2014; Lorenzo i wsp., 2010; Nielsen i wsp., 1993; Montain i Coyle, 1992*).

1.4.2. Działanie zimna na organizm i efekty kriostymulacji ogólnoustrojowej

Interwencje obejmujące chłodzenie ciała mogą zwiększyć zdolność organizmu do magazynowania ciepła (pojemność cieplną -chłodzenie wstępne), zmniejszyć wywołany wysiłkiem fizycznym wzrost temperatury ciała (per-cooling) i przyspieszać regenerację po intensywnych ćwiczeniach (post-cooling) (*Bouzigon i wsp. 2021*). Na przestrzeni ostatnich dziesięciu lat, opublikowano wiele przeglądów i metaanaliz dotyczących efektów chłodzenia i ćwiczeń fizycznych. Jak podają *Castello i wsp., (2012)* krótka ekspozycja całego ciała na działanie zimna nie prowadzi do spadku temperatury wewnątrz ciała, natomiast prowadzi do obniżenia temperatury skóry. W pierwszej fazie działania zimna na organizm dochodzi do zwężenia naczyń krwionośnych w skórze właściwej i tkance podskórnej, której towarzyszy wzrost właściwości termoizolacyjnych organizmu i podwyższenie ciśnienia tętniczego krwi (*Lubkowska i wsp., 2010; Lombardi i wsp., 2017*) ponadto obserwuje się zmiany w układzie endokrynnym, układzie krążenia i immunologicznym (*Kellogg, 2006, Ganta i wsp., 2006*) oraz sygnalizacji komórkowej która ma wpływ na poprawę funkcji oksydacyjnych mięśni podczas wysiłku (*Ihsan i wsp., 2016*). Nowsze badania wykazały, że pod wpływem zimna dochodzi do poprawy odporności na zmęczenie i zdolności wysiłkowych /po adaptacji/ do zimna, co jest zgodne z molekularnymi dowodami wskazującymi na zwiększoną liczbę mitochondriów (*Schaeffer i wsp., 2003; Bruton i wsp., 2010*).

W kontekście wykorzystania bodźców zimna w regeneracji po wysiłku fizycznym, dużym zainteresowaniem cieszy się stosowanie krótkotrwałej ekspozycji na działanie zimnego powietrza oraz zanurzenia do zimnej wody (CWI). W tym układzie wykorzystywanym efektem działania zimna stosowanego w okresie regeneracji jest zwężenie naczyń krwionośnych, które może ograniczać przepuszczalność naczyń, a tym samym hamować procesy zapalne

i zmniejszać ból mięśni (*Young i wsp., 1987*), zmniejszać ilości krwi w mięśniach i wokół nich oraz w niektórych narządach (*Charkoudian, 2003*), ograniczać przepuszczalność błon komórkowych i dyfuzję płynów do przestrzeni śródmiąższowej uczestnicząc w zmniejszeniu rozwoju obrzęku, oraz w zmniejszeniu stanu zapalnego (*Banfi i wsp., 2009*). Z kolei bezpośrednio po zabiegu kriostymulacji uruchamiane zostają mechanizmy zwiększania wytwarzania ciepła w organizmie przez zwiększenie tempa przemiany materii i przekrwienie tkanek, oraz wzrost stężenia tlenu w mięśniach (*Lubkowska i wsp., 2008; Hausswirth i wsp., 2013; Lombardi i wsp., 2017; Stanek i wsp., 2007, Stanek i Sieroń 2012; Stanek i wsp., 2019*).

Aktualnie dostępnymi metodami oziębienia, które cieszą się dużym zainteresowaniem sportowców i trenerów jest kriostymulacja całego ciała (WBC). WBC polega na ekspozycji organizmu na bardzo zimne powietrze utrzymywane w temperaturze od 110°C do 140°C w specjalnej kriokomorze z kontrolowaną temperaturą, na ogół przez 3 do 4 minut (*Klimek i wsp., 2010*). Jedną z najlepiej poznanych fizjologicznych reakcji na ekspozycję na zimno w zabiegu WBC jest obniżenie temperatury skóry, co powoduje natychmiastowe pobudzenie receptorów skórnych i pobudzenia współczulnych włókien adrenergicznych, co z kolei powoduje zwężenie lokalnych tętniczek i żył.

Kriostymulacja w odróżnieniu od krioterapii (pacjentów) obejmuje lecznicze zastosowanie niskich temperatur wyłącznie u osób zdrowych (*Stanek i Sieroń, 2012; Lubkowska i wsp., 2012*). WBC może prowadzić do obniżenia temperatury mięśni, co może zmniejszyć aktywność enzymów mięśniowych, metabolizm, stan zapalny i wtórną degradację po niedotlenieniu (zmniejszenie problemów związanych z niedokrwieniem/reperfuzją), co może pomóc w regeneracji (*Bouzigon i wsp., 2016*).

Ostatnie badania wykazały, że kriostymulacja (tj. ekspozycja na zimne powietrze) w ekstremalnie zimnych warunkach (np. poniżej – 100°C) może przyspieszyć regenerację i zminimalizować reakcje zapalne po ćwiczeniach uszkodzających mięśnie (*Ziemann i wsp., 2012*), oraz złagodzić objawy przetrenowania w okresach intensywnego treningu (*Schaal i wsp., 2015*). Jednak typowa długość ekspozycji na kriostymulację wynosi około 2-3 minut (*Costello i wsp., 2015*) ze względu na ekstremalne warunki, co jest znacznie krótsze niż typowa ekspozycja na CWI wynosząca 10-15 minut. *Kwiecień i wsp. (2020)* zwraca uwagę na fakt, że większość informacji dotyczących obniżenia temperatury mięśni w efekcie działania zimna na organizm pochodzi z badań na zwierzętach, które cechuje większa reaktywność na działanie bodźca zimna, podczas gdy u ludzi zastosowanie WBC prowadzi zwykle do obniżenia temperatury skóry jednak nie towarzyszy mu obniżenie temperatury mięśni.

Pomimo rosnącej popularności zastosowania WBC w sporcie, opinie na temat skuteczności zabiegów WBC w sporcie są niejednoznaczne *Banfi i wsp. (2017)* odnotowali korzystny wpływ tygodniowego cyklu (7 dni) sesji WBC na powrót do zdrowia u profesjonalnym sportowców. *Fonda i wsp. (Fonda i Sarabon, 2013)* stwierdzili pozytywny wpływ krioterapii całego ciała (WBC) na DOMS (zespół opóźnianej bolesności mięśniowej) po ekspozycji trwającej 3 minuty w temperaturze – 140 i – 195°C. Natomiast *Guilhem i wsp. (2013)* oraz *Vieira i wsp. (2013)* nie obserwowali takiego efektu. W swojej metaanalizie *Costello i wsp. (2015)* podnosili, że nie ma wystarczających dowodów, aby zalecić stosowania WBC w zapobieganiu bolesności mięśni. Niejednoznaczny charakter informacji na temat efektów i zastosowania WBC jest częściowo spowodowany różnymi typami wykonywanych ćwiczeń i zastosowaniem WBC lub PBC (częściowej kriostymulacji), wartościami stosowanych temperatur kriogenicznych, czasem ich oddziaływania na organizm, a także częstotliwością, z jaką oddziałują na organizm (*Akerman i wsp., 2016; Bailey 2007*).

Pomimo, że ostatnio kriostymulacja była często stosowana przez sportowców, trenerów i lekarzy sportowych w celu poprawy wyników sportowych i regeneracji (*Banfi i wsp., 2010; Lombardi i wsp., 2017*) w sporcie wyczynowym nadal pozostaje pytanie, czy kriostymulacja może i/lub powinna być stosowana przed zawodami w celu zwiększenia wydajności jednostki i poprawy samopoczucia czy tylko w celu poprawy parametrów regeneracji u sportowców.

W literaturze naukowej tylko w nielicznych badaniach oceniano wpływ kriostymulacji na parametry adaptacji tlenowej. *Klimek i wsp. (2010)* uważają, że w dyscyplinach sportowych z przewagą metabolizmu beztlenowego może być wskazane wprowadzenie terapii WBC do periodyzacji treningu, przynajmniej w populacji mężczyzn. Interesujące badanie (*Kruger i wsp., 2019*) wykazały, że WBC poprawia regenerację podczas przerywanych ćwiczeń o wysokiej intensywności w warunkach termoneutralnych, Jak wykazali *Wyrostek i wsp. (2021)* kriostymulacja całego ciała nie ma negatywnego wpływu na wskaźniki hematologiczne, dlatego zabieg ten można uznać za bezpieczny dla sportowców.

Z drugiej strony ekspozycja na zimno zwiększa diurezę i zmniejsza objętość krwi i osocza (*Young, 2007*). Interesujące wyniki przyniosły badania związane z krótkotrwałym oddziaływaniem skrajnie niskich temperatur łączonych z treningiem fizycznym na parametry morfotyczne krwi. Autorzy obserwowali, że po zakończeniu serii zabiegów z wykorzystaniem zimna, obniżeniu ulega stężenie hemoglobiny we krwi, z jednoczesnym wzrostem średniej masy hemoglobiny w erytrocycie. Podobnie *Telegów i wsp. (2015)* odnotowali zmiany właściwości reologicznych krwi u pływaków trenujących w zimnej wodzie. Zmiany

właściwości morfologicznych krwi nie były obserwowane po pierwszej ekspozycji, ale uwidaczniały się po kolejnych sesjach WBC (*Kępińska-Szyszkowska i wsp., 2022*). Podobnych zmian nie notowali *Banfi i wsp. (2010, 2011)*.

Kriostymulacja ogólnoustrojowa może przejawiać wpływ na stan uwodnienia, objętości krwi i jej płynność (*Takamata i wsp., 2001*). Szczególnie, że przesunięcie wody z przestrzeni naczyniowej do przestrzeni śródmiąższowej z powodu zwiększonego ciśnienia krwi (w następstwie działania stresu zimna) może być jednym z ważnych czynników wpływających na objętości osocza (*Chen i wsp., 1980; Vogelaere i wsp., 1992*), i wpływać na status wodno-elektrolitowego w spoczynku, podczas wysiłku i oddziaływać na obciążenie systemowe organizmu w czasie wysiłku wykonywanego w normotermii (*Allen i Gellai 1993; Broman i wsp., 1998; Morgan i wsp., 1983*). W dostępnym piśmiennictwie nieliczne prace zwracają uwagę na zmiany statusu wodnego u badanych korzystających z regularnych zabiegów WBC, biorąc po uwagę szczególną rolę płynów ustrojowych, ich ilości i dystrybucji dla funkcji układu krążenia i termoregulacji, może mieć decydować o wielkości obciążenia systemowego podczas wysiłku i tempie regeneracji po wysiłku.

Kluczowym spostrzeżeniem wyłaniającym się z przeprowadzonego w niniejszym rozdziale przeglądu piśmiennictwa jest, że pomimo rosnącej popularności zastosowania termoterapii w sporcie mała jest liczba badań empirycznych odnoszących się do porównania cech regeneracji powysiłkowej oraz wytrzymałości czasowej u sportowców po serii regularnych interwencji cieplnych z zastosowaniem ciepła i zimna.

2. CEL PRACY

Głównym celem pracy była ocena efektywności oddziaływania serii regularnych kąpieli w suchej saunie fińskiej i kriostymulacji całego ciała na obciążenie mechanizmów fizjologicznych podczas wysiłku oraz przebieg procesu restytucji po wysiłku u zawodników uprawiających biegi narciarskie.

2.1. Pytania badawcze

1. Jakie zmiany funkcjonalne występują po serii dziesięciu powtarzanych zabiegów zimna i ciepła u zawodników biegów narciarskich i jakie są cechy tych zmian?
2. Jakie zmiany występują w obciążeniu mechanizmów fizjologicznych podczas wysiłku, który został wykonany po serii powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna i czy charakter tych zmian jest różny czy podobny po działaniu WBC i WBH?
3. Czy seria powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna wpływa na czas wykonywania wysiłku i przebieg restytucji powysiłkowej i czy efektywność jest różna po działaniu serii zabiegów WBC i WBH?
4. Które z zastosowanych oddziaływań temperaturowych przejawiają korzystny wpływ na funkcjonowanie organizmu podczas wysiłku i w jakich funkcjach systemowych ujawniają się te zmiany?

2.2. Hipotezy badawcze

1. Seria zabiegów kriostymulacji i kąpieli w saunie wykształca zmiany adaptacyjne w organizmie, które ujawniają się w badaniach spoczynkowych, są one odmienne i charakterystyczne dla natury stresora.
2. Seria powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna wpływa na cechy reakcji fizjologicznych podczas wysiłku fizycznego i wytrzymałość długoczasową zawodników, a efektywność działania zabiegów wykorzystujących ogólnoustrojowe działanie ciepła i zimna jest zbliżona.
3. Seria powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna wpływa na przebieg restytucji powysiłkowej a efektywność ich działania jest różna po serii zabiegów WBC i WBH.

4. Zastosowanie termoterapii w postaci ekspozycji na działanie ciepła i zimno indukuje zmiany, które ujawniają się w różnych systemach podczas wysiłku i w procesie restytucji zależnie od rodzaju zastosowanej termoterapii.

3. MATERIAŁ I METODY

3.1. Badani

Badania zostały przeprowadzone w okresie przejściowym (TP) makrocyklu treningowego biegaczy narciarskich w ramach realizacji projektu badawczego nr 0050/RS4/2016/54 finansowanego z funduszy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach programu „Rozwój Sportu Akademickiego”. Szczegółowy program badań został zaakceptowany przez Komisję Bioetyczną ds. badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach (U2/2016). W badaniach uczestniczyli zawodnicy uprawiający biegi narciarskie (wiek $21 \pm 2,5$ lat, wysokość ciała $175,8 \pm 9,44$ cm, masa ciała $70,7 \pm 9,64$ kg, $VO_2\max$ $60,5 \pm 6,5$ ml/kg/min) klasy mistrzowskiej, reprezentujący Akademicki Związek Sportowy AWF Katowice. Do badań zakwalifikowano 25 zawodników jednak w toku badań na skutek kontuzji i nie uczestniczenia we wszystkich etapach badań, kompletne wyniki badań uzyskano u 19 zawodników. Wszyscy badani i zostali poinformowani o celu badań, stosowanej metodyce oraz o możliwości rezygnacji z udziału w badaniach na dowolnym etapie bez podawania przyczyny. Uczestnicy wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach.

3.2. Procedura

3.2.1. Badania wstępne

Przez rozpoczęciem doświadczenia przeprowadzono badania wstępne. Obejmowały one: pomiary antropometryczne i test wysiłkowy o stopniowo narastającym obciążeniu, na bieżni (Cosmed, Niemcy), do odmowy ($VO_2\max\text{TEST}$ – maksymalny pobór tlenu ($VO_2\max$), aby ocenić wydolność tlenową ($VO_2\max$), oraz wyznaczyć indywidualny próg przemian anaerobowych (iAT) dla każdego uczestnika. Podczas testu rejestrowano tętno (HR), pobór tlenu (VO_2) i oznaczano stężenie mleczanu (LA) we krwi kapilaryzowanej w każdym obciążeniu wysiłkowym i do 3 minuty po zakończeniu testu. Oznaczenia stężenia LA pozwoliły na wyznaczenie indywidualnego progu mleczanowego (iAT), określenia wartości tętna HR (HRAT) na progu i wykorzystania HRAT w programowaniu i kontroli obciążeń wysiłkowych stosowanych we właściwym teście wysiłkowym (W).

3.2.2. Wysiłki testowe (W)

Uczestnicy wykonali dwa testy wysiłkowe przed i odpowiednio po serii 10 zabiegów kriostymulacji całego ciała (WBC) oraz przed i po serii 10 kąpielach w suchej saunie fińskiej 10 (WBH). Wysiłek testowy (W), obejmował test biegowy o submaksymalnej intensywności, (odpowiadającej 70-80% HRAT określonej w badaniach wstępnych) wykonywany przez badanego maksymalnie do 1 godziny. W obu seriach badań przed i po serii zabiegów aplikowano badanym takie samo obciążenie pracą, a mierząc czas jego wykonywania, oceniano wytrzymałość długoczasową badanych (TTW). Podczas prób biegowych wszyscy badani utrzymywali stałą określoną indywidualnie dla każdego badanego prędkość biegu, przy zadanym kącie nachylenia bieżni do podłoża. Wszystkie testy wysiłkowe były wykonywane w warunkach termoneutralnych na bieżni mechanicznej w klimatyzowanym pomieszczeniu Międzykatedralnej Pracowni Badań Czynnościowych AWF Katowice, (temperatura otoczenia 21-24 °C i wilgotność względna 45-55%) o tej samej porze dnia 8.00-14.00, aby zminimalizować efekty rytmu okołodobowego, przed i po 10 zabiegach odpowiednio kriostymulacji całego ciała (WBC) i po serii kąpiele w saunie (WBH). Włączenie badanych do serii doświadczalnej z zastosowaniem zabiegów WBH czy WBC podlegało randomizacji. Podczas wykonywania testów wysiłkowych (W) badani nie przyjmowali płynów. Po zakończeniu testu przyjmowali płyny ad libitum, a do 24h restytucji uzupełniali utracone płyny, których łączna objętości powinna odpowiadać ok 150% utraconej masy ciała podczas testu.

Podczas badań zasadniczych (test W) rejestrowano wybrane wskaźniki fizjologiczne: wentylację minutową płuc (V_e), minutowy pobór tlenu (VO_2), wartości współczynnika oddechowego RER, (analizator gazowy Oxycon, Jaeger, Niemcy) oraz częstość skurczów serca (HR) (Sporttester Polar 3500PE, Finlandia).

W spoczynku i bezpośrednio po wysiłku mierzono: temperaturę kanału słuchowego (T_{ty}) – termometr Ellab A/S Cu/CuNi (Dania), temperatury skóry (T_{sk}) – teletermometr Cannon; typ TB 77B (UK)) na ramieniu, klatce piersiowej i udzie oraz ciśnienie tętnicze krwi: ciśnienie krwi skurczowe (sBP), ciśnienie krwi rozkurczowe (dBP), (za pomocą Tensoval Compact HARTMANN, Niemcy) oraz masę ciała BM (za pomocą analizatora masy ciała InBody 780, Korea). Ponadto przed rozpoczęciem badań wysiłkowych w rannych próbkach moczu dostarczonych przez badanych do laboratorium oceniano ciężar właściwy moczu (USG).

3.2.3. Zabiegi kriostymulacji (WBC)

W 10 zabiegach kriostymulacji (WBC) badani uczestniczyli między godziną 14.00 a 18.00 od poniedziałku do piątku (1 raz dziennie) przez 2 tygodnie. Badani wchodzili do komory w grupach po pięć osób. Każda sesja kriostymulacji trwała 3 minuty (-130°C). Wejście do kriokomory poprzedzono 30 s okresem adaptacji w przedsionku (w temperaturze – 60°C), z którego badani przechodzili do właściwej komory, gdzie poruszali się powoli w kółko, jeden po drugim, bez wzajemnego kontaktu i mówienia. Po minucie zalecono zmianę kierunku ruchu. Kontakt z uczestnikami był utrzymywany przez kamerę w pokoju i kontakt głosowy. Zawodnicy korzystali z zabiegów WBC w GCMiR w Katowicach.

3.2.4. Zabiegi biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH)

Serię zabiegów biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH) przeprowadzano w suchej saunie fińskiej na terenie Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Aplikowano serię 10 kąpiele w saunie w godzinach popołudniowych (1 raz dziennie). Średnia temperatura w saunie wynosiła $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, a średnia wilgotność $15 \pm 3\%$. Jednorazowo badani korzystali z trzech ~15-minutowych kąpiele w saunie, pomiędzy którymi występowała 5-minutowa przerwa, na schłodzenie ciała. Jednorazowa sesja w saunie kończyła się 2-minutowym chłodnym prysznicem (ok. 19°C) i odpoczynkiem.

W czasie korzystania z zabiegów WBC, lub WBH badani uczestniczyli w typowym dla okresu przejściowego procesie treningowym - od kwietnia do czerwca (średnia temperatura otoczenia wynosiła $10\text{-}18\text{ }^{\circ}\text{C}$). Okres przejściowy w rocznym cyklu treningowym to okres odpoczynku i regeneracji (*Pokora i wsp., 2021*).

Przed wysiłkiem, bezpośrednio po zakończeniu testu wysiłkowego, oraz w 1 i 24 h restytucji przed i po zastosowaniu obu zabiegów cieplnych w każdej serii badawczej pobierano badanym próbki krwi z żyły odłokciowej, w których dokonywano oznaczeń: morfologii krwi: tj. liczby krwinek czerwonych (RBC), stężenia hemoglobiny (HB), wartości hematokrytowej (HCT), średniej objętości krwinek czerwonych (MCV), średniej ilości hemoglobiny w krwince (MCH), osmolalności osocza (OSMOMETR OS 3000 Marcel S.A. Polska), aktywności enzymów komórkowych we krwi: kinazy kreatynowej (CK; EC 2.7.3.2); Kinaza keratynowa (norma 24-195 U/l), Randox CK522; dehydrogenazy mleczanowej (LDH, E.C. 1.1.1.27); Dehydrogenaza mleczanowa (norma 230-460 U/l), Randox LD 401, oraz aktywności aminotransferazy alaninowej (ALT) i aminotransferazy asparaginianowej (AST) /system Cobas Integra 400 firmy Roche Diagnostic/. Część oznaczeń biochemicznych przeprowadzono w certyfikowanej Pracowni Biochemicznej w AWF Katowice (CK i LDH) z wykorzystaniem

spektrofotometru UV/VIS SP-8001 firmy Metertech. Oznaczenia ALT oraz AST prowadzono w laboratorium zewnętrznym z wykorzystaniem urządzenia Cobas Integra 400 firmy Roche Diagnostics.

Oznaczenia stężenia hormonów: kortyzolu, adrenaliny, noradrenaliny, i aldosteronu przeprowadzono w certyfikowanym Laboratorium Diagnostycznym w Katowicach. Do oznaczeń stosowano odpowiednio zestawy diagnostyczne RIA /IRMA KIT nr RK – 400 CT; Cortisol (I-125) RIA KIT nr RK-240 CT kortyzol, ug/gl norma godz. 7.00-10.00 (6,2-19,4); godz. 16.00-.20.00 (2,3-11,9); adrenalina, pg/ml-zestaw firmy LDN, Nordhorn Germany, nr kat 3-CAT RIA ; noradrenalina, pg/ml – zestaw firmy LDN, Nordhorn Germany, nr kat 3-CAT RIA, aldosteron – oznaczano metodą Elisa , zestaw Nordhorn Germany kit MS U-5200 0 / 20 – 1000 pg/ml.

Stężenie białka całkowitego, oznaczano podczas elektroforetycznego rozdziału białek /aparat Interlab G26/, a stężenia jonów: sodowych, potasowych i chlorkowych /aparat /Cobas Integra 400 firmy Roche Diagnostics/ w laboratorium zewnętrznym. Oznaczenia ciężaru właściwego moczu przeprowadzono w Laboratorium Zakładu Fizjologii AWF Katowice z wykorzystaniem refraktometru cyfrowego DR6000 firmy Danlab.

Wyliczono:

- Zmiany objętości krwi i osocza za van Beaumont (1973),
- Średnią temperatury ciała (Tb) za Stolwijk i Hardy (1966), średnią ważoną temperaturę skóry Tsk (MTsk) za Burton (1935) oraz przyrosty /lub standaryzowane na spoczynek przyrosty/ badanych wskaźników w odpowiedzi na działanie wysiłku fizycznego i po jego zakończeniu.
- W analizie zmian stężenia hormonów, aktywności enzymów komórkowych wykorzystywano wartości skorygowane o zmianę objętości osocza wg Pilch i wsp. (2013).

4. METODY ANALIZY STATYSTYCZNEJ

Uzyskane wyniki zostały poddane analizie statystycznej z wykorzystaniem programu komputerowego STATISTICA 13.0. (StatSoft, Inc, PL). Dla wszystkich miar obliczono statystyki opisowe. Statystyki opisowe w tekście podano, jako średnie \pm SD.

Jako kryterium doboru metod analizy statystycznej przyjęto normalność rozkładu danych (test Shapiro-Wilka) oraz wartości skośności i kurtozy wyliczone dla analizowanych zmiennych. Do oceny istotności różnic pomiędzy średnimi poszczególnych zmiennych spełniających warunki normalności rozkładu wykorzystano analiza wariancji ANOVA /interwencja cieplna x wysiłek/. Założenia jednorodności wariancji zostały zweryfikowane testem Levene'a, a sferyczność testem Mauchly'ego. W przypadku ujawnienia istotnych efektów głównych lub interakcji przeprowadzono analiza post-hoc Tukeya. Istotność różnic wartości zmiennych niecharakteryzujących się rozkładami normalnymi weryfikowano stosując testy nieparametryczne (test kolejności par Wilcoxon, analiza Friedmana) w tych przypadkach wyniki prezentowano, jako mediana (25. i 75. percentyl).

Wielkości efektów dla efektów głównych i interakcji przedstawiono, jako częściowe eta kwadraty (η^2) (wielkość efektu: 0,01 mały, 0,06 średni, 0,14 duży. Różnice uznawano za istotne przy $p < 0,05$).

5. WYNIKI

5.1. Charakterystyka badanych

W całym eksperymencie uczestniczyło 19 dobrze wyszkolonych narciarzy biegowych w okresie przejściowym (TP) rocznego cyklu treningowego. Podczas TP zawodnicy zostali poddani ścisłej kontroli pod względem diety, obciążeń wysiłkowych w okresie TP przez zespół ekspertów, tj. trenerów, lekarza oraz dietetyków sportowych. Główne cechy somatyczne i funkcjonalne badanych przedstawiono w tabeli 1 i 2.

Tabela 1. Charakterystyka somatyczna badanych

Zmienna	\bar{x}	Min	Max	SD
Wysokość ciała [cm]	175,8	167	190	9,44
Wiek [lata]	21,8	19	28,0	2,78
TBW [L]	45,7	31	57,1	7,70
FM [kg]	8,0	3	14,3	2,73
Masa ciała [kg]	70,7	48	87,2	9,64
Masa mięśni szkieletowych [kg]	35,8	24	45,3	6,36
BMI [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	22,8	19	25,3	1,73
BSI [m^2]	1,86	1,6	2	0,09
FM [%]	8,3	3	23,4	2,78
ICF [L]	29,0	20	36,3	4,87
ECF [L]	16,8	11	21,2	2,82
PPM [kcal]	1725,6	1283	2059	227,57
WHR	0,8	1	0,85	0,03
Staż treningowy [lata]	9	7	12	10,5

Legenda: TBW-całkowita woda organizmu; BMI – indeks masy ciała; BSI – powierzchnia ciała, FM – zawartość tkanki tłuszczowej; PPM – podstawowa przemiana materii; WHR-obwód talii do obwodu bioder; $\text{VO}_{2\text{max}}$ – maksymalny pobór tlenu; ICF – zawartość wody wewnątrzkomórkowej; ECF – zawartość wody pozakomórkowej

Tabela 2. Charakterystyka funkcjonalna badanych

Zmienna	X – SD	Min	Max
VO ₂ max [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	60.5 ±6.5	53	73
HR _{max} [ud·min ⁻¹]	193 ±8,7	178	207
Moc _{max} [W]	395,7 ±9,1	310	497
Moc _{max} [W·kg ⁻¹]	5,68 ±0,5	5,3	6,2
RER _{max}	1,05 ±0,6	0,95	1,21
MET _{max}	17,9 ±1,9	14,9	21,8
Ve _{max} [l·min ⁻¹]	156 ±25,1	120,4	198
LA _{max} [mM]	9,83 ±1,8	6,7	13,5
TT _{max}	29,3± 2,3	23	33
V _{max}	13,1± 1,03	11,7	14
G% _{max}	8,2± 2,6	1,5	12,5
HR _{AT} [ud·min ⁻¹]	173,3 ±7,7	160	183
V _{AT} [km·h ⁻¹]	13,6 ±0.9	12	14
G% _{AT} [%]	1,25 ±1,6	1	5

Legenda: VO₂max – maksymalny pobór tlenu; HR_{max} – tętno maksymalne; RER_{max}-współczynnik oddechowy; Ve_{max} – wentylacja maksymalna; LA_{max} – maksymalne stężenie mleczanu; TT_{max} – całkowity czas wykonywania testu do odmowy, V_{max}, maksymalna prędkość biegu G%_{max} – maksymalny kąt nachylenia bieżni do podłoża, HR_{AT} – tętno na progu anaerobowym; V_{AT} – prędkość na progu anaerobowym; G%_{AT}-kąt bieżni na progu anaerobowym; MET – metaboliczny odpowiednik energetyczny

5.2. Ocena oddziaływania regularnych 10 kąpiel w saunie i zabiegów kriostymulacji całego ciała

Wszyscy sportowcy zostali poddani 10 zabiegom biernej hipertermii całego ciała (WBH) i 10 zabiegom kriostymulacji (WBC) w przejściowej fazie makrocyklu treningowego. Całkowity czas spędzany przez badanych w saunie (jedna kąpiel) mieścił się w zakresie 32-52 minut, a w kriokomorze do 3 minut.

5.2.1. Efekty działania WBH i WBC na parametry fizjologiczne w spoczynku

Seria dziesięciu kąpiel w saunie (WBH) nie wpłynęła znacząco na początkowe zmienne fizjologiczne (temperatura wewnętrzna i skóry), ani na masę ciała. Wpływ interwencji WBH na fizjologiczne funkcje w spoczynku odnotowano tylko dla częstości skurczów serca ($p = 0,09$, $ES = 1,08$), ciśnienia skurczowego krwi (SDP) ($p = 0,04$, $ES = 0,96$), poboru tlenu i tempa procesów metabolicznych MET. WBH wyraźnie obniżyła HR (o ~ 7 ud / min) w spoczynku, ale nie wpłynęła znacząco na wartości HR przed rozpoczęciem testu /w pozycji pionowej/ i na temperaturę kanału słuchowego i ciała (tab. 3).

Seria dziesięciu kriostymulacji całego ciała (WBC) wyraźnie zmniejszyła spoczynkowe stężenie mleczanu, istotnie zwiększyła wartości współczynnika oddechowego, pobór tlenu i tempo MET (tab. 3).

Tabela 3. Charakterystyczne cechy funkcjonalne w spoczynku przed i po serii zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej (WBC) i kąpieli w saunie (WBH)

Zmienne	Seria badawcza WBC		Seria badawcza WBH	
	S X ±SD	ST X ±SD	S X ±SD	ST X ±SD
BM [kg]	70,7 ± 9,4	70,9 ± 10,5	71,5 ± 10,1	71,4 ± 9,9
BMI [kg. m ⁻²]	22,8 ± 0,4	22,7 ± 0,5	23,4 ± 0,35	23,3 ± 0,48
ICF [L]	28,9 ± 1,6	29,16 ± 1,43	31,6 ± 2,13	28,9 ± 2,31
ECF [L]	16,7 ± 0,8	16,9 ± 0,8	17,9 ± 1,3	17,03 ± 1,41
HR [ud min ⁻¹] _{spoczynk pozycja siedząca}	70,1 ± 15,3	66,0 ± 12	66,1 ± 11,3	59, ± 3,8*
HR _{pozycja stojąca}	78,2 ± 20,14	78,7 ± 20,21	80,05 ± 12,1	84,6 ± 13,74
VO ₂ [l min ⁻¹]	0,41 ± 0,04	0,73 ± 0,13***&&	0,44 ± 0,55	0,56 ± 0,16*
La [mmol/L]	1,5	1,4 ± 0,3*	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,3
RER	0,76 ± 0,06	0,9 ± 0,1***	0,79 ± 0,026	0,81 ± 0,02
MET	1,9 ± 0,13	2,94 ± 0,47***&&	1,9 ± 0,4	2,6 ± 0,5*
Ve [l/min]	20,2 ± 3,3	19,9 ± 4,3	23,9 ± 1,4	22,15 ± 1,7
Tty [C°]	36,7 ± 0,6	36,3 ± 0,6	36,3 ± 0,5	36,2 ± 0,4
Tsk [C°]	33,1 ± 0,45	32,1 ± 1,24	31,9 ± 0,7	32,3 ± 0,7
T _b [C°]	35,4 ± 0,33	35,3 ± 0,19	35,3 ± 0,5	35,1 ± 0,4
SBP [mmHg]	133 ± 8,2	136 ± 11	136,5 ± 12,4	129 ± 4,5*
DBP [mmHg]	74,8 ± 7,2	72,7 ± 7,8	73,1 ± 5,9	72,2 ± 8,7
D PV[%]		+3,53 ± 4,09		+10,53 ± 24,4&&

Legenda: S-grupa kontrolna w serii WBC, ST- grupa po serii WBC, S- grupa kontrolna w sesji WBH, ST- grupa po sesji WBH, T_b- średnia temperatury ciała; T_{sk}-średnia temperatura skóry; BM- masa ciała; BMI – wskaźnik masy ciała; ICF – zawartość wody wewnątrzkomórkowej; ECF- zawartość wody pozakomórkowej; VO₂- pobór tlenu; Tty- temperatura kanału słuchowego; HR- tętno; SDP- skurczowe ciśnienie tętnicze krwi; DBP- rozkurczowe ciśnienie tętnicze krwi; DPV- przyrost objętości osocza, MET- metaboliczny równoważnik energetyczny; Ve- wentylacja minutowa płuc; RER- współczynnik oddechowy; LA- stężenie mleczanu. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,005 oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH lub WBC między sesją S (kontrola;) i T (po aklimacji). & p<0,05; && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą z po serii zabiegów WBH a WBC.

Analiza statystyczna spoczynkowych wielkości badanych zmiennych funkcjonalnych wykazała, że rodzaj zastosowanych interwencji cieplnej istotnie różnicował spoczynkowe wartości SBP i tempo procesów metabolicznych oraz wpływał na spoczynkowe wartości HR jednak nie odnotowano istotnych różnic w spoczynkowych cechach temperatury wewnętrznej, ciała i skóry badanych (tab. 3).

Zastosowanie serii zabiegów WBH i WBC wpłynęło na objętość osocza krwi badanych. Po obu interwencjach odnotowano wzrost objętości osocza krwi, jednak po serii kąpieeli w saunie przyrost objętości osocza był większy niż po serii zabiegów WBC (tab. 3).

5.2.2. Efekty działania WBH i WBC na parametry hematologiczne w spoczynku i po wysiłku

Tabela 4. Cechy hematologiczne krwi i osmolalność osocza przed i po zabiegach WBH w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego

Zmienna	S X ±SD	W X ±SD	1R X ±SD	24R X ±SD	Interwencja; czas; interakcja
RBC [mln/ul] przed sauną po saunie	5 ± 0,6 4,7 ± 0,4	5,2 ± 0,6 4,8 ± 0,4	5 ± 0,5 4,8 ± 0,4	4,9 ± 0,5 4,5 ± 0,4	Interwencja (s) p=0,00;η2= 0,5 Czas (t) p=0,2 Interakcja (s*x*t) p=0,9
HB [g/dl] przed sauną po saunie	15,1 ± 1,5 14,5 ± 0,4	15,9 ± 1,6 15 ± 0,4	15 ± 1,5 14,5 ± 0,4	15 ± 1,5 14,4 ± 0,4	Interwencja (s) p=0,00;η2=0,3 Czas (t) p=0,03; ;η2= 0,08 Interakcja (s*x*t) p=0,8
HCT [%] przed sauną po saunie	43,4 ± 3,8 42,1 ± 1,4	45,15 ± 3,9* 44,13 ± 1,3	43 ± 3,7 42,3 ± 1,3	43,1 ± 3,9 42,5 ± 1,3	Interwencja (s)p=0,02;η2= 0,12 Czas (t) p=0,04;η2= 0,08 Interakcja (s*x*t) p=0,94
MCV [fl] przed sauną po saunie	86,9 ± 7,9 89,9 ± 2,5	87 ± 7,8 89 ± 2,4	86,5 ± 7,8 89 ± 2,4	87,7 ± 7,9 90,4 ± 2,4	Interwencja (s) p=0,00;η2= 0,4 Czas (t) p=0,9 Interakcja (s*x*t) p =0,9
MCH [pg] przed sauną po saunie	30,3 ± 2,7 30,4 ± 0,8	31 ± 2,9 30,5 ± 0,9	30,2 ± 2,8 30,3 ± 0,9	30,4 ± 2,7 30,5 ± 0,8	Interwencja(s);p=0,9 Czas (t) ;p=0,9 Interakcja (s*x*t) p =0,9
OSM [mmol/l] przed sauną po saunie	290,2 ± 3 292,8 ± 3,9	293,7 ± 4 296,8 ± 4,5	292,8 ± 3,4 290,8 ± 3,3	292,2 ± 5,6 293,9 ± 8,8	Interwencja (s) p=0,4 Czas (t) p=0,00;η2= 0,2 Interakcja (s*x*t) p =0,2

Legenda: RBC- krwinki czerwone, Hb- hemoglobina; Hct- hematokryt; MCV- średnia objętość krwinek czerwonych; MCH- średnie stężenie Hb w krwince, Osm- osmolalność osocza, S-spoczynek, W-wysiłek, 1R-1 godzina restytucji, 24R-24 godzina restytucji. Różnice istotne statystycznie przed i po interwencji cieplej *p<0,05; **p<0,01.

Seria dziesięciu kąpieeli w saunie przejawiała istotny wpływ na liczebność krwinek czerwonych RBC (p=0,00; η2=0,5), stężenie hemoglobiny Hb (p=0,00; η2=0,3), hematokryt HCT (p= 0.02; η2=0.12) oraz średnią objętość krwinek czerwonych (MCV) (p=0,00; η2=0,4). Po serii WBH liczba RBC, stężenie Hb, HCT przyjmowały niższe wartości, podczas gdy MCV osiągała wyższe wartości niż w kontroli. Stężenie hemoglobiny (p=0,03; η2=0,08) we krwi oraz osmolalność osocza (p=0,00; η2=0,2) przejawiały istotny związek z czasem pomiaru. Nie odnotowano istotnych interakcji w działaniu wysiłku fizycznego i serii zabiegów WBH na żadne z badanych zmiennych (tab. 4).

Tabela 5. Cechy hematologiczne krwi i osmolalność osocza przed i po zabiegach WBC w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego

Zmienna	S X ±SD	W X ±SD	1R X ±SD	24R X ±SD	Interwencja; czas; interakcja
RBC [mln/ul] przed krio po krio	5 ± 0,3 5,2 ± 0,3	5,1 ± 0,4 5,3 ± 0,4	4,9 ± 0,4 5,1 ± 0,3	4,9 ± 0,3 5,1 ± 0,3	Interwencja (k) p=0,01; η2=0,2 Czas (t) ;p=0,1 Interakcja (k*x*t) p=0,2
HB [g/dl] przed krio po krio	15,8 ± 1 15,1 ± 1	16,2 ± 1 15,6 ± 1,1	15,6 ± 0,9 15 ± 1,1	15,4 ± 0,8 14,9 ± 1,1	Interwencja(k) p=0,05 Czas(t) p=0,00; η2=0,4 Interakcja (k*x*t) p=0,2
HCT [%] przed krio po skrio	43,8 ± 3,8 42,5 ± 1,4	44,6 ± 3,9 ⁸ 43,3 ± 1,4	43,2 ± 3,8 42,4 ± 1,3	42,19 ± 3,9 42,59 ± 1,3	Interwencja(k) p= 0,1 Czas(t)= 13,72 p= 0,00 Interakcja (k x t) p= 0,17
MCV [fl] przed krio po krio	84,4 ± 3,1 85,8 ± 3,5	84,1 ± 2,9 86 ± 3,4	84,4 ± 2,9 86 ± 3,5	84,8 ± 3,1 84,3 ± 7,2	Interwencja(k) p=0,1 Czas(t) p=0,4; η2=0,32 Interakcja (k*x*t) p=0,1
MCH [pg] przed krio po krio	30,4 ± 1,1 30,4 ± 0,9	30,6 ± 1 30,5 ± 1	30,4 ± 0,9 30,5 ± 0,9	30,4 ± 0,1 30,5 ± 1,1	Interwencja(k) p=0,4 Czas(t) p=0,1 Interakcja (k*x*t) p=0,9
OSM [mmol/l] przed krio po krio	293 ± 4,1 290 ± 4,9	300 ± 5,8 298,6 ± 7,6	297 ± 5,7 294,4 ± 7,7	293 ± 5,3 295,4 ± 5,6	Interwencja(k) p=0,3 Czas(t) p=0,00; η2=0,2 Interakcja (k*x*t) p=0,2

Legenda: RBC- krwinki czerwone, Hb- hemoglobina; Hct-hematokryt; MCV- średnia objętość krwinek czerwonych; MCH- średnie stężenie Hb w krwince, OSM – osmolalność osocza, S-spoczynek, W- wysiłek, 1R-1 godzina restytucji, 24R-24 godzina restytucji. Różnice istotne statystycznie przed i po interwencji cieplej *p<0,05; **p<0,01

Seria dziesięciu kriostymulacji całego ciała przejawiała istotny wpływ na liczebność krwinek czerwonych (p=0,01; η2=0,2), stężenia hemoglobiny (p=0,04; η2= 0,1). Po serii 10 zabiegów WBC stężenie HB, przyjmowało niższe wartości niż w kontroli (p>0,05). Czas pomiaru wykazał istotny wpływ na stężenie hemoglobiny (p=0,00; η2=0,4), hematokryt (p= 0,00; η2=0,32) oraz osmolalność osocza (p=0,00; η2=0,2). Nie odnotowano istotnych interakcji w działaniu wysiłku fizycznego i WBC na żadne z badanych zmiennych (tab. 5).

W żadnym z badanych etapów doświadczenia osmolalność osocza krwi w spoczynku przed rozpoczęciem wysiłku nie przejawiała cech świadczących o odwodnieniu badanych, co oznacza, że zarówno w spoczynku przed, jak i po serii WBH jak i WBC badanych zawodników cechował prawidłowy stan uwodnienia organizmu.

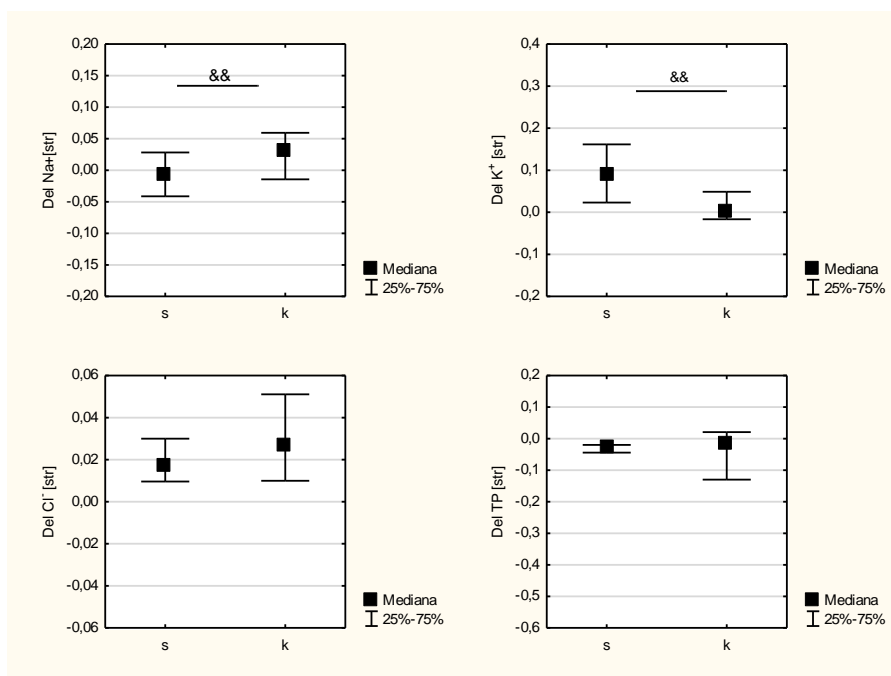
5.2.3. Efekty działania WBC i WBH na stężenia wybranych elektrolitów w osoczu krwi w spoczynku

Tabela 6. Średnie wartości stężenia wybranych elektrolitów w osoczu krwi w spoczynku przed i po serii zabiegów WBH i WBC

Zmienna	WBH X ±SD	Zmienna	WBC X ±SD	(WBHxWBC) (H;p)
Na⁺ [mmol/l] przed WBH po WBH	137,6 (133; 145,6) 136,2 (129,3; 146,9)	Na⁺ [mmol/l] przed WBC po WBC	133,9 (126,0; 142,4) 138,9 (134,8; 136,0)**	H=2,31; p=0,01 H=1,04; p=0,21
Cl⁻ [mmol/l] przed WBH po WBH	102,2 (97; 107,6) 104,0 (103,0; 106,0)**	Cl⁻ [mmol/l] przed WBC po WBC	99 (97; 103,6)6 103 (100; 108)**	H=3,02; p=0,001&& H=2,02; p=0,052
TP [g/l] przed WBH po WBH	78,2 (76; 81,4) 76,6 (76,2; 80,2)**	TP [g/l] przed WBC po WBC	79,4 (71; 86,4) 74,7 (67,9; 85,4)	H=1,04; p=0,20 H= 0,67; p=0,49
K⁺ [mmol/l] przed WBH po WBH	4,3 (3,9; 4,9)** 4,7 (4,1; 5,12)	K⁺ [mmol/l] przed WBC po WBC	4,3 (4,0; 4,7) 4,3 (4,2; 4,36)	H=0,01; p=0,97 H=1,04; p=0,02*

Legenda: Na- jony sodowe, Cl- jony chlorkowe; K- jony potasowe, TP- białko całkowite. Różnice istotne statystycznie przed i po interwencji *p<0,05; **p<0,01. & p<0,05; && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC.H. Wartości przedstawiono, jako mediana (25-75 percentyl).

Spoczynkowe stężenia jonów [Cl⁻] i [Na⁺] były zróżnicowane przed zastosowaniem odmiennych interwencji cieplnych. Po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych spoczynkowe stężenia jonów [K⁺] różniły się istotnie pomiędzy badanymi grupami (tab. 6).



Rycina 1. Standaryzowane przyrosty stężenia jonów oraz białka całkowitego po serii zabiegów odpowiednio WBH (s) i WBC(k)

Legenda: Na- jony sodowe, Cl- jony chlorkowe; K- jony potasowe, TP- białko całkowite. & p<0,05; && p<0,01; oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC. Wartości przedstawiono, jako mediana (25-75 percentyl).

Standaryzowany (na wartości spoczynkowe przed zastosowaniem interwencji cieplnych odpowiednio: przed zabiegami WBH i WBC) przyrost stężenia jonów sodowych [del Na⁺] po serii kriostymulacji (WBC) był istotnie większy w porównaniu do zmian stężenia jonu sodowego po serii kąpieli w saunie (WBH) (p=0,007), podczas gdy przyrost stężenia jonów potasowych [Del K⁺] był istotnie większy po serii WBC w porównaniu do serii WBH (p=0,006) (ryc. 1). Nie odnotowano istotnych różnic w przyroście stężenia jonu chlorkowego oraz białka całkowitego.

5.2.4. Efekty działania WBC i WBH na aktywność wybranych enzymatycznych markerów mikrouszkodzeń w spoczynku i po wysiłku

Tabela 7. Efekty działania WBH na aktywność wybranych markerów mikrouszkodzeń tkankowych w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego przed i po działaniu serii zabiegów WBH

Zmienna	S X ±SD	W X ±SD	1R. X ±SD	24R X ±SD	Interwencja; czas; interakcja
AST [U/l] przed sauną po saunie	25,8 ± 6,2 ^{&&} 32,3 ± 13 ^{&&&}	36,5 ± 8 48,7 ± 14	30,1 ± 7,5 43 ± 18	33,5 ± 12 42 ± 15	Interwencja(s) p=0,02;η2= 0,3 Czas(t) p=0,00;η2= 0,13 Interakcja(s*x*t) p=1,3
ALT [U/l] przed sauną po saunie	14,5 ± 4,4 ^{&&} 16,6 ± 4,2 ^{&&&}	18,1 ± 6,2 19,3 ± 4,4	16,2 ± 6 16,8 ± 4	17,3 ± 6,7 12,7 ± 2,5	Interwencja(s) p=0,9 Czas (t) p=0,00;η2= 0,27 Interakcja(s*x*t) p=0,00;η2=0,1
CK [U/l] przed sauną po saunie	249,5 ± 170* 363,1± 267 ^{&}	284,8 ± 203 457,7± 361	321,6 ± 225 464,1 ± 337	432,4 ± 345 338,9 ± 227	Interwencja(s) p=0,28 Czas (t) p=0,06 Interakcja(s*x*t) p=0,04;η2=0,4
LDH [U/l] przed sauną po saunie	349,8 ± 99 335,4 ± 59	399,7 ± 109 443,1 ± 53	325,9 ± 75 413,3 ± 42	334,1 ± 75 333 ± 53	Interwencja(s) p=0,13 Czas(t) p=0,00;η2= 0,21 Interakcja(s*x*t) p=0,04;η2=0,4

Legenda: AST- aminotransferaza asparaginowa, ALT- aminotransferaza alaninowa; CK- kinaza keratynowa, LDH- dehydrogenaza mleczanowa. S-spoczynek, W- wysiłek, 1R- 1 godzina restytucji, 24R- 24 godzina restytucji. Różnice istotne statystycznie przed i po interwencji cieplnej *p<0,05; **p<0,01.

Seria dziesięciu kąpieli w saunie przejawiała istotny wpływ na zachowanie się aktywności AST (p=0,02; η2=0,3). Po serii WBH aktywność aminotransferazy asparaginowej przyjmowała wyższe wartości niż przed zabiegami. Podobną tendencję notowano w aktywnościach ALT i CK p>0,05. Na aktywność AST (p=0,00; η2= 0,13), ALT (p=0,00; η2=0,27) oraz LDH (p=0,00; η2=0,21) istotny wpływ miał czas pomiaru. Odnotowano istotne współdziałanie efektu WBH oraz czasu pomiaru na zachowanie się aktywności CK (p=0,04, ;η2=0,4), LDH (;p=0,04; ;η2=0,4) i ALT (p=0,00; η2=0,1) (tab. 7).

Tabela 8. Efekty działania WBC na aktywność wybranych markerów mikrouszkodzeń w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego przed i po działaniu serii zabiegów WBC

Zmienna	S X ±SD	W X ±SD	1R. X ±SD	24R. X ±SD	Interwencja; czas; interakcja
AST [U/l] przed krio po krio	21,8 ± 7,2 19,3 ± 2,7	29,6 ± 11,5 23 ± 3,4	26 ± 10,4 21,5 ± 3,6	27,2 ± 12,5 24,2 ± 5,8	Interwencja(k) p=0,2 Czas(t) p=0,00;η2= 0,3 Interakcja(k*x*t) p=0,3
ALT [U/l] przed krio po krio	10,4 ± 2,7 10,2 ± 3,9	11,1 ± 4,5 11,3 ± 4,4	11,5 ± 5,3 9,8 ± 4,2	10,5 ± 2,7 10 ± 4	Interwencja(k) p=0,9 Czas (t) p=0,1 Interakcja(k*x*t) p=0,2
CK [U/l] przed krio po krio	244 ± 370 469 ± 1055	302 ± 492 475 ± 871	305 ± 483 521 ± 105	374 ± 378 399 ± 642	Interwencja(k) p=0,3 Czas (t) p=0,8 Interakcja(k*x*t) p=0,09
LDH [U/l] przed krio po krio	317 ± 57 335 ± 196	350 ± 70 405 ± 287	328 ± 67 356 ± 197	290 ± 60 331 ± 261	Interwencja(k) p=0,5 Czas(t) p=0,00;η2= 0,3 Interakcja(k*x*t) p=0,2

Legenda: AST- aminotransferaza asparaginowa, ALT- aminotransferaza alaninowa; CK- kinaza keratynowa, LDH- dehydrogenaza mleczanowa. S-spoczynek, W, wysiłek, 1R-1 godzina restytucji, 24R-24 godzina restytucji. Różnice istotne statystycznie przed i po interwencji cieplnej *p<0,05; **p<0,01

Nie odnotowano istotnego wpływu serii dziesięciu kriostymulacji całego ciała na zachowanie się aktywności badanych enzymów we krwi badanych. Czas oceny przejawiał istotny wpływ na aktywności AST (p=0,00; η2=0,3) oraz LDH (p=0,00; η2=0,3). Nie odnotowano istotnego współdziaływania efektów czasu pomiaru i interwencji z zastosowaniem zimna WBC na aktywności żadnego z badanych enzymów (tab. 8).

Aktywności ALT (p=0,009) i AST (p=0,02) były istotnie różne w badanych grupach /grupie WBH niż WBC przed interwencją cieplną. Ponadto odnotowano, że w spoczynku aktywność CK (p=0,03), ALT (p=0,001) i AST (p=0,000) różniły się istotnie po odmiennych interwencjach cieplnych. W spoczynku nie odnotowano istotnych różnic w aktywności dehydrogenazy mleczanowej po odmiennych interwencjach cieplnych.

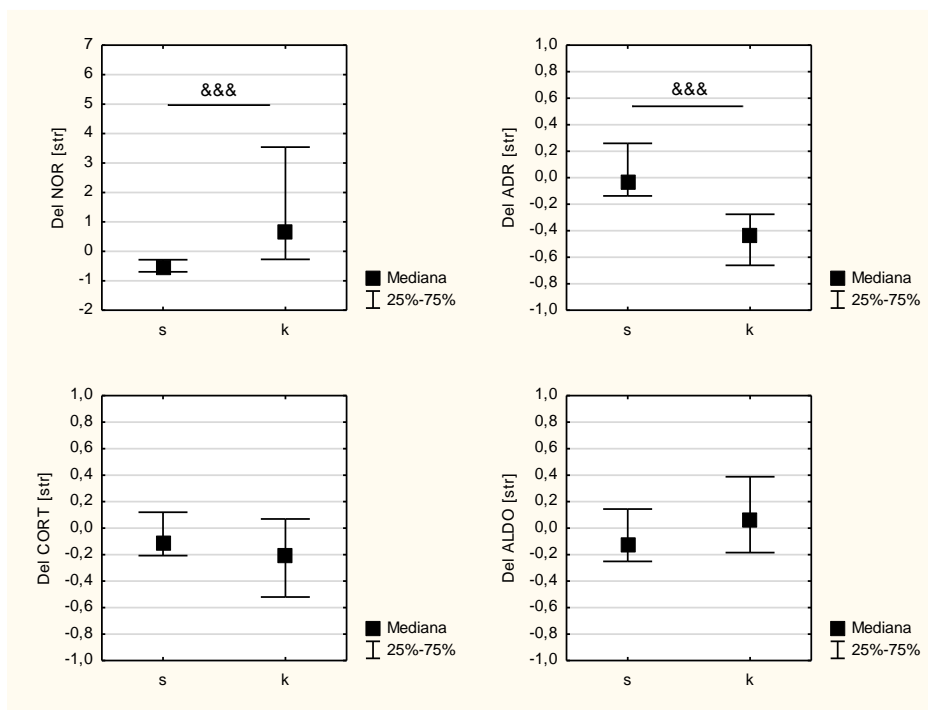
5.2.5. Efekty działania WBC i WBH na stężenie wybranych hormonów

Tabela 9. Efekty działania WBH i WBC na stężenie wybranych hormonów w spoczynku przed i po działaniu serii zabiegów.

Zmienna	WBH X ±SD	Zmienna	WBC X ±SD	(WBHxWBC) (H;p)
ALD [pmol/l] przed WBH po WBH	278,2 (180; 361,7) 256,5 (189,1; 305,14)	ALD [pmol/l] przed WBC po WBC	300,6 (92,8; 560) 283,4 (139; 468,6)	H=0,058 p=0,95; H=0,19 p=0,84
CORT [nmol/l] przed WBH po WBH	660,2 (342; 1029) 510,7 (321; 646)	CORT [nmol/l] przed WBC po WBC	680,7 (394,9; 1088) 509,8 (200,2; 721,1)**	H=1,55 p=0,12; H=0,57 p=0,56
ADR [pg/ml] przed WBH po WBH	50,4 (21,0; 85,7)&& 34,6 (14; 50,7)	ADR [pg/ml] przed WBC po WBC	61,7 (30,7; 90) 32,2 (14,0; 50,2)**	H= 2,93 p=0,004 H=0,57 p=0,56
NOR [pg/ml] przed WBH po WBH	75,7 (17,7; 103,5 5). 53,09 (19,3; 85)**&&&&	NOR [pg/ml] przed WBC po WBC	81,5 (13,6; 256,0) 75,3 (34,0; 139,3)	H= 1,5 p=0,26 H=3,38 p=0,002

Legenda: ALD- aldosteron, CORT- kortyzol; ADR- adrenalina, NOR- noradrenalina. *p<0,05; **p<0,01- różnice istotne statystycznie przed i po interwencji cieplnej && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC. Wartości przedstawiono, jako mediana (25-75 percentyl)

Stężenia adrenaliny przed interwencją cieplną były zróżnicowane w badanych grupach. Po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych odnotowano istotne różnice w stężeniu noradrenaliny w spoczynku (p=0,002). Nie odnotowano istotnych różnic w bezwzględnym stężeniu pozostałych hormonów (tab. 9).



Rycina 2. Standaryzowane przyrosty stężenia hormonów po serii zabiegów odpowiednio WBH (s) i WBC(k)

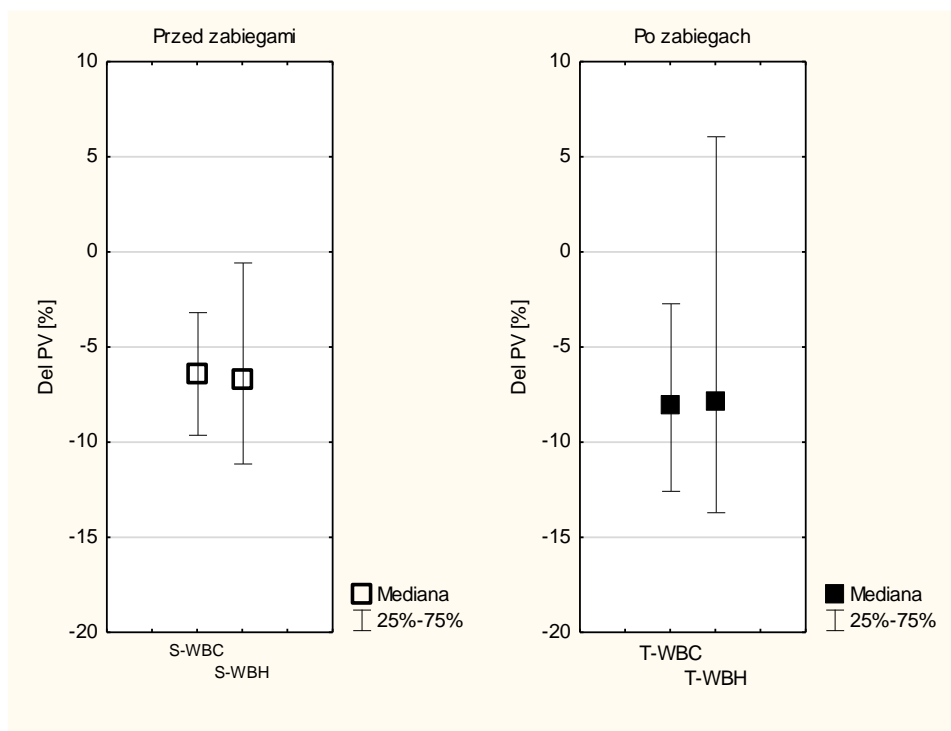
Legenda: ALD- aldosteron, CORT- kortyzol; ADR- adrenalina, NOR,- noradrenalina. && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC. Wartości przedstawiono, jako mediana (25-75 percentyl)

Standaryzowany (na wartości spoczynkowe przed zastosowaniem interwencji cieplnych odpowiednio: przed zabiegami WBH i WBC) przyrost stężenia NOR po serii kriostymulacji (WBC) był istotnie wyższy ($p=0,001$) podczas gdy stężenia adrenaliny istotnie niższy ($p=0,001$) w porównaniu do zmian stężenia badanych hormonów po serii kąpiele w saunie (WBH) (ryc. 2). Nie odnotowano istotnych różnic w przyrostach pozostałych hormonów.

5.3. Porównanie cech reakcji organizmu na wysiłek fizyczny po serii zabiegów WBH i WBC

5.3.1. Zastosowane serii zabiegów WBH i WBC

Zastosowane serii zabiegów WBH i WBC wpłynęło na objętości osocza krwi badanych. Po obu interwencjach cieplnych odnotowano zwiększenie objętości osocza (del PV%) krwi, jednak po serii kąpiele w saunie przyrost objętości osocza był większy niż po serii zabiegów WBC (tab. 3). Wysiłek fizyczny spowodował zmniejszenie objętości osocza we wszystkich sesjach badawczych. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic zależnych od typu zastosowanej interwencji cieplnej, w medianach przyrostów objętości osocza podczas wysiłku (ryc. 3), jednak w grupie poddawanej działaniu serii WBH wysiłkowa redukcja objętości osocza była większa niż w grupie poddawanej zabiegom WBC i wynosiła odpowiednio po serii WBC; T-WBC Del PV% = $-8,04\% \pm 1,03$ i po serii WBH: T-WBH Del PV% = $-9,9\% \pm 3,36$ po serii WBH, $p>0,05$ podczas gdy w testach wysiłkowych wykonywanych w kontroli redukcja objętości osocza była zbliżona w obu grupach przed S-WBC – $6,24\% \pm 1,0$ i przed S-WBH – $6,95\% \pm 3,17$, $p>0,05$ (ryc. 3).



Rycina 3. Zmiany objętość osocza badanych w odpowiedzi na test wysiłkowy przed i po serii zabiegów ciepłych
 Legenda: Del PV, przyrost objętości osocza krwi; S-WBC, S-WBH, wysiłkowe badanie kontrolne; T-WBC, TWBH wysiłkowe badanie po działaniu serii zabiegów ciepłych; WBH seria 10 kąpiele w saunie fińskiej; WBC seria 10 zabiegów kriostymulacji całego ciała, * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,005 oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH i WBC

Analiza statystyczna zmian objętości osocza [del PV%] przed i po działaniu serii WBH wykazała, że wielkości te nie różniły się istotnie statystycznie przed i po interwencjach WBH (p=0,49) podobnie jak przed i po zastosowaniu WBC (p=0,13). Nie wykazano również istotnych różnic w zachowaniu się zmian objętości osocza w odpowiedzi na wysiłek podczas wysiłku po serii WBC i WBH (p=0,28) (ryc. 3).

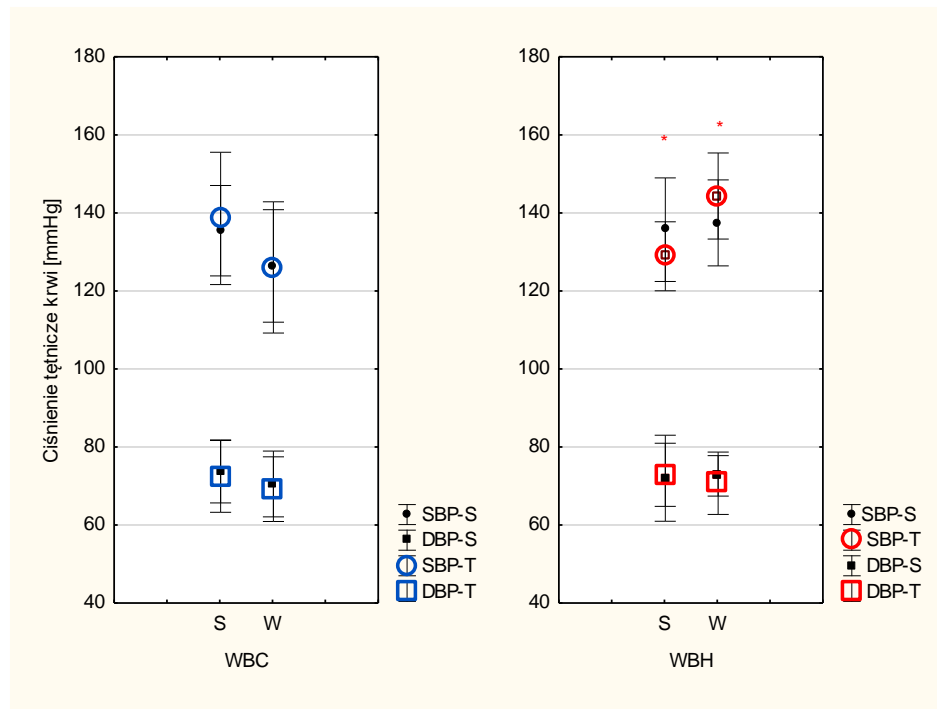
5.3.2. Wpływ aklimatyzacji cieplnej i WBC na cechy obciążenia wysiłkiem fizycznym i zmiany ocenianych wskaźników fizjologicznych podczas stresu wysiłkowego

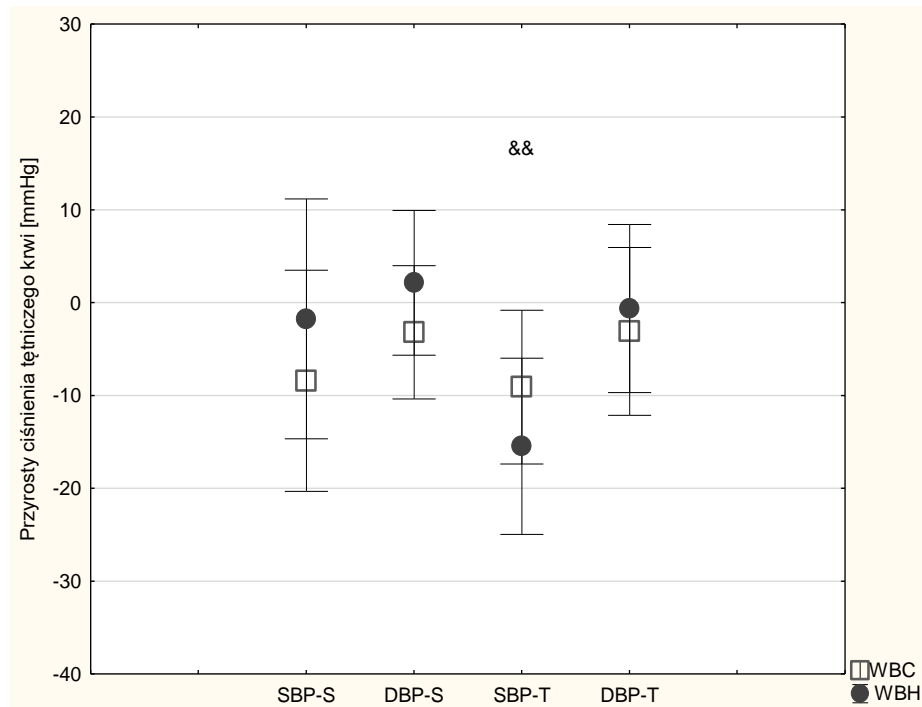
Tabela 10. Zmiany masy ciała, mocy oraz całkowity czas wykonywania wysiłku przed i po serii zabiegów WBH i WBC

Zmienne	Seria badawcza WBC		Seria badawcza WBH	
	S-WBC X ± SD	T-WBC X±SD	S-WBH X± SD	T-WBH X± SD
Δ BM [kg]	-1,01± 0,67	-0,86±0,57	-1,06 ± 0,6	-1,13 ± 0,81
TTW [min]	46,75± 19,1	47,09±17,2	46,25±12,2	52,33±11,7
Moc [W/kg]	3,88± 0,22	3,89±0,24	3,96 ± 0,24	3,87 ± 0,32

Legenda: ΔBM- zmiana masy ciała w odpowiedzi na wysiłek fizyczny; TTW- całkowity czas trwania wysiłku testowego, DHR- przyrost częstości skurczów serca. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,005 oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH lub WBC między sesją S (kontrola;) i T (po aklimacji). & p<0,05; && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC

Przed i po serii kąpeli w saunie oraz przed i po zastosowaniu serii kriostymulacji WBC średnia względna intensywność ćwiczeń podczas testu wysiłkowego była zbliżona. Nie odnotowano istotnych różnic w czasie całkowitym wykonywania testów (TTW) w badanych seriach doświadczenia, chociaż czas wykonywania testu po serii kąpeli w saunie był o ok. 4 min dłuższy niż w warunkach kontroli ($p>0,05$). Redukcja masy ciała podczas wysiłku była większa w grupie badanych, którzy stosowali serię zabiegów WBH w porównaniu z analogiczną ΔBM w grupie korzystającej z serii zabiegów kriostymulacji ($p>0,05$) (tab. 10).



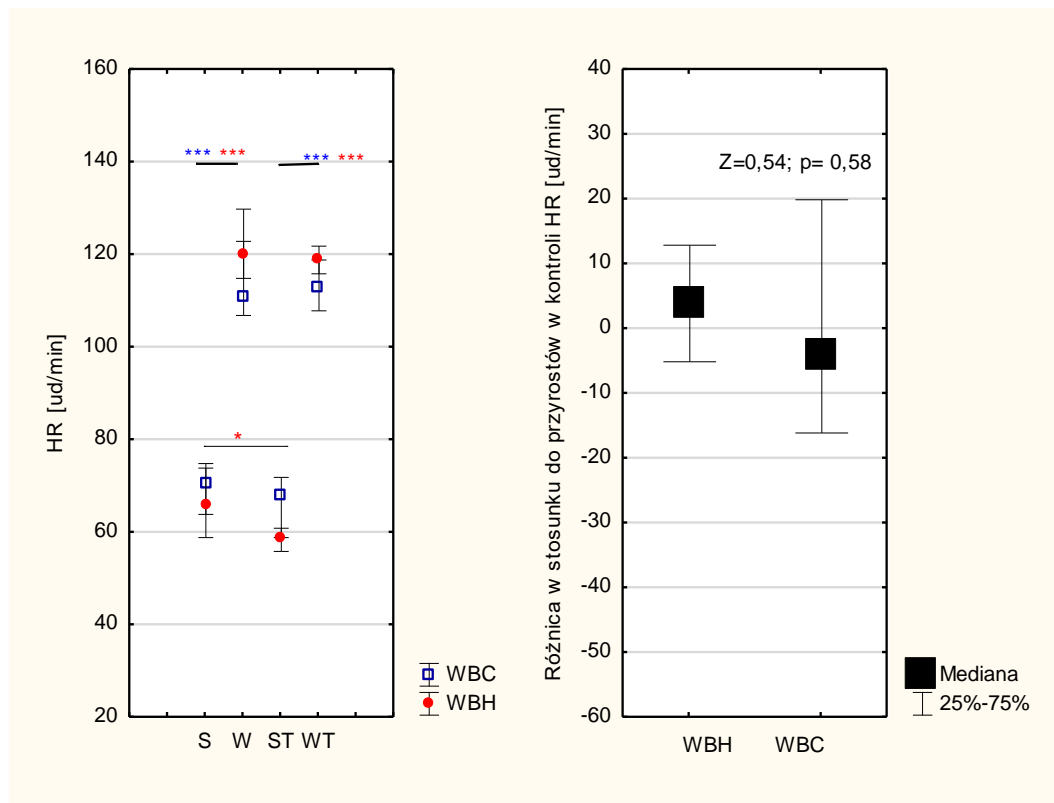


Rycina 4. Ciśnienie tętnicze i przyrosty ciśnienia tętniczego krwi indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed i po serii zabiegów WBH i WBC

SDP – zmiana skurczowego ciśnienia tętniczego krwi w odpowiedzi na wysiłek fizyczny; DBP – zmian rozkurczowego ciśnienia tętniczego krwi w odpowiedzi na wysiłek fizyczny. S badania przed zastosowaniem interwencji cieplnych, T – badania po zastosowanej interwencji cieplnej. Wyniki przedstawiono, jako średnie \pm SD; * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH lub WBC, między sesją S (kontrola;) i T (po aklimacji). & $p < 0,05$; && $p < 0,01$; &&& $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę pomiędzy wynikami w serii badawczą po zabiegach WBH, WBC

Wykonaniu wysiłku testowego (W) towarzyszyła zmiana ciśnienia tętniczego krwi i wzrost tętna. Średnie ciśnienie skurczowe było istotnie niższe przed wysiłkiem po serii kąpieli cieplnych niż przed ich zastosowaniem i wzrosło podczas wysiłku osiągając istotnie wyższe wartości podczas wysiłku po serii interwencji WBH. Bezpośrednio po zakończeniu wysiłku odnotowano obniżenie SBP, a przyrost ciśnienia skurczowego był istotnie niższy po serii WBH niż WBC (ryc. 4).

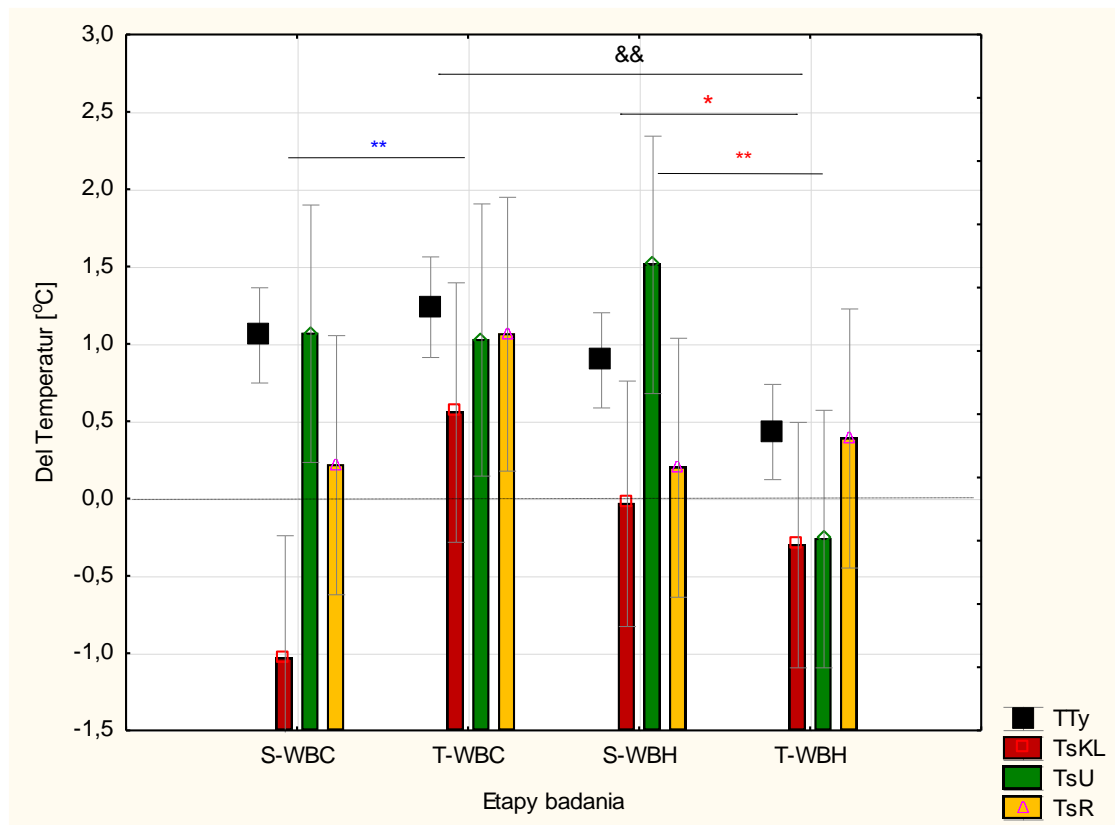
W obu grupach odnotowano istotny wzrost wartości tętna powodowany wysiłkiem fizycznym (ryc. 3). W odpowiedzi na wykonywanie wysiłku fizycznego przyrost tętna był wyższy po serii WBH o +12% i +6% po WBC wyższy niż w teście kontrolnym. Po serii zabiegów WBH HR osiągała o +3 ud/min wyższy wartości niż w kontroli, po serii WBC o -1,6 ud/min niż w kontroli. Nie wykazano jednak istotnych różnic w wielkościach przyrostów tętna w odpowiedzi na wysiłek fizyczny w porównaniu do przyrostów tętna w teście kontrolnym po serii zabiegów WBC i WBH ($p=0,58$) (ryc. 5).



Rycina 5. Tętno i przyrosty tętna indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego w grupach kontroli i po serii zabiegów WBH i WBC

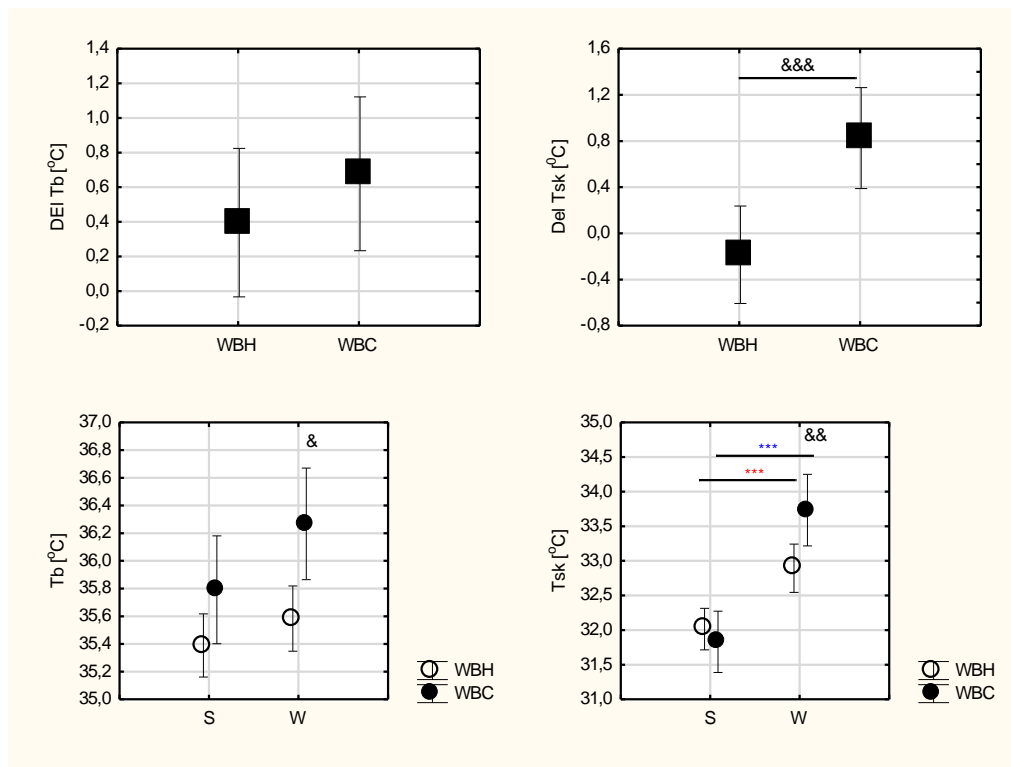
Legenda: HR- tętno. WBH- grupa poddana serii kąpeli w saunie; WBC- grupa poddawana kriostymulacji; S- okres spoczynku; W- okres wysiłku, ST- okres spoczynku po interwencji cieplnej; WT- okres wysiłku po interwencji cieplnej. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH i WBC między sesją 1 (kontrola;) i 2 (po aklimacji). & $p < 0,05$; && $p < 0,01$; &&& $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę pomiędzy seriami badawczą z wykorzystaniem zabiegów WBH i WBC)

Wykonywaniu pracy fizycznej towarzyszyły zmiany temperatur ciała: temperatury wewnętrznej i powłok skórnych. Podczas wysiłku przyrost temperatury wewnętrznej był istotnie niższy po serii WBH niż WBC ($p=0,01$). Ponadto w odpowiedzi na wykonywanie wysiłku fizycznego stwierdzono istotnie większy przyrost lokalnej temperatury klatki piersiowej w grupie korzystającej z zabiegów WBC, podczas gdy stosowanie zabiegów WBH spowodowało, że przyrost temperatury wewnętrznej oraz lokalnej temperatury uda podczas wysiłku był istotnie niższy niż w kontroli (ryc. 6). Odnotowano istotne współdziałanie rodzaju interwencji termicznej oraz wysiłku na przyrost temperatury wewnętrznej badanych ($p=0,013^*$).



Rycina 6. Przyrosty temperatury wewnętrznej oraz lokalnych temperatur skóry indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed (S) i po serii zabiegów (T) odpowiednio WBH i WBC

Tty- temperatura kanału słuchowego; TsKL- temperatura klatki piersiowej, TsU- temperatura uda, TsR- temperatura ramienia, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH, WBC między sesją S (kontrola;) i T (po aklimacji). & $p < 0,05$; && $p < 0,01$; &&& $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę pomiędzy serii badawczą z wykorzystaniem zabiegów WBH, WBC



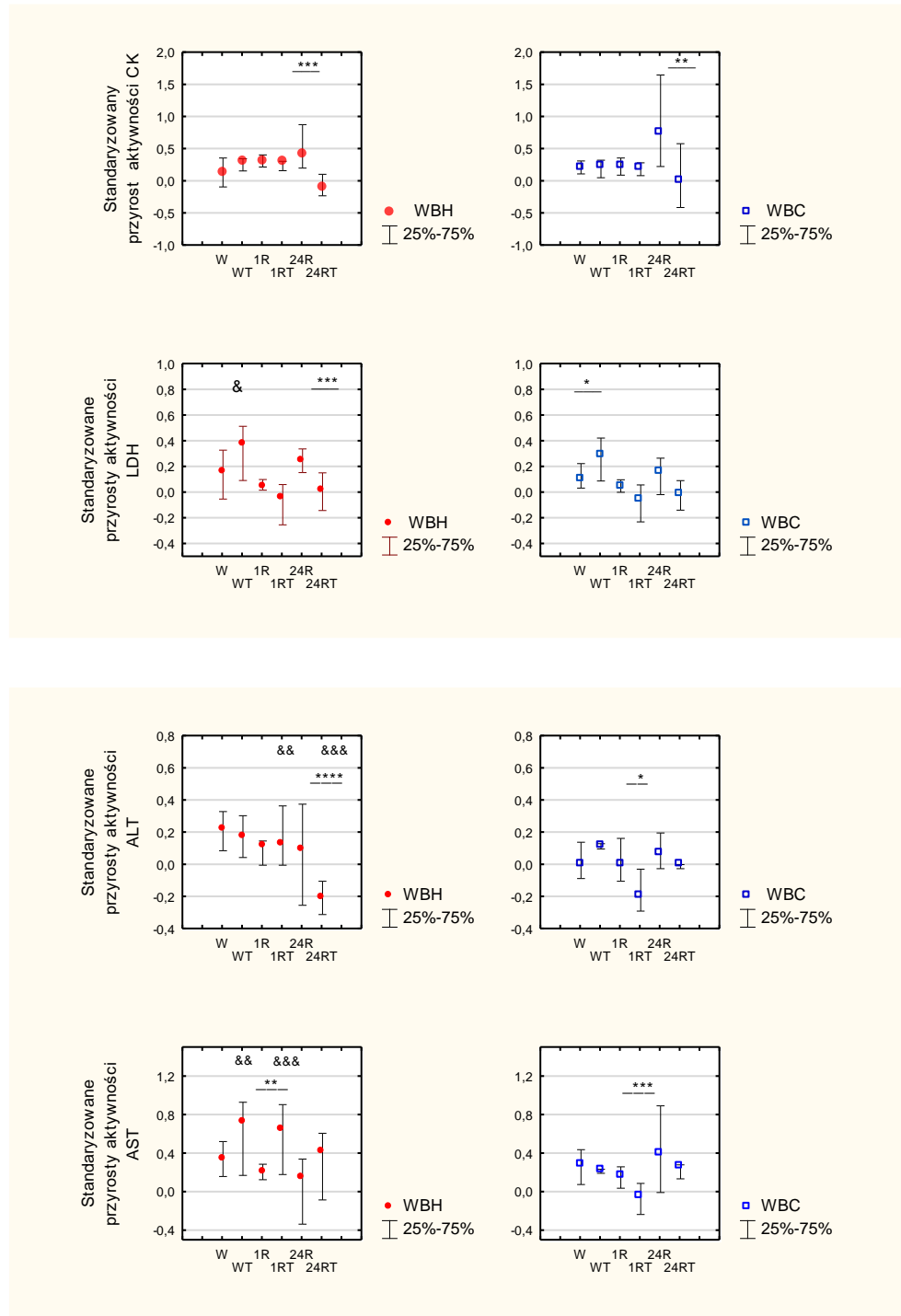
Rycina 7. Temperatura ciała i średnia temperatura skóry oraz ich zmiany w odpowiedzi na wysiłek fizyczny przed i po interwencjach cieplnych WBH i WBC

Legenda: Tb- temperatura ciała, Tsk- średnia temperatura skóry; del Tb- przyrost temperatury ciała del Tsk- przyrost średniej temperatury skóry. WBH- grupa poddana serii kąpeli w saunie; WBC- grupa poddawana kriostymulacji; S – okres spoczynku; W- okres wysiłku. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH lub WBC. & $p < 0,05$; && $p < 0,01$; &&& $p < 0,005$ oznacza istotną różnicę pomiędzy serii badawczą z wykorzystaniem zabiegów WBH, WBC.

Podczas pracy fizycznej odnotowano zmiany średniej temperatury ciała (Tb) i średniej temperatury skóry (Tsk). Tb i Tsk były istotnie różnicowane rodzajem zastosowanej interwencji cieplnej przed wysiłkiem Tb ($p = 0,046^*$, $\eta^2 = 0,14$), Tsk ($p = 0,000^*$, $\eta^2 = 0,46$). Ponadto obie zmienne temperaturowe były istotnie modyfikowane wykonywaniem wysiłku fizycznego Tb ($p = 0,001^*$; $\eta^2 = 0,33$), Tsk ($p = 0,029^*$; $\eta^2 = 0,16$). Odnotowano istotne współdziałanie rodzaju interwencji cieplnej oraz wysiłku fizycznego na Tsk ($p = 0,001^*$, $\eta^2 = 0,31$). Temperatura ciała Tb oraz Tsk osiągały niższe wartości w grupie, która przed testem korzystała z serii zabiegów WBH. Grupa badanych korzystająca z serii zabiegów kriostymulacji osiągała istotnie wyższe wartości Tb i Tsk po wysiłku niż w badaniu kontrolnym (ryc. 6).

Indukowany wysiłkiem przyrost temperatury ciała Tb był niższy po serii WBH niż WBC ($p > 0,05$). Wysiłkową zmianę Tsk w grupie WBH cechowało nieznaczne obniżenie Tsk w porównaniu do badań kontrolnych, podczas gdy w odpowiedzi na podobny test wysiłkowy w grupie poddanej serii WBC odnotowano wzrost Tsk. Przyrosty Tsk indukowane wysiłkiem fizycznym były istotnie różne po serii zabiegów WBH i WBC (ryc. 7).

5.3.3. Wpływ aklimatyzacji cieplnej i WBC na zmiany aktywności wybranych enzymów podczas stresu wysiłkowego i po jego zakończeniu



Rycina 8. Standaryzowane na spoczynek przyrosty aktywności wybranych enzymów, markerów tkankowych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny (W), po 1 h restytucji (1R), po 24 h odpoczynku (24R) przed i po serii 10 zabiegów (T) kriostymulacji ogólnoustrojowej (WBC) oraz przed i po serii 10 zabiegach kąpieli w saunie (WBH)
 Legenda: CK- kinaza kreatynowa, ALT- aminotransferaza alaninowa, AST- aminotransferaza asparaginowa, LDH- dehydrogenaza mleczanowa. * p<0,05; ** p<0,01; *** p<0,005 oznacza istotną różnicę w obrębie danej serii badawczej poddawanej zabiegom WBH, WBC przed i po interwencji cieplnej. & p<0,05; && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą z wykorzystaniem zabiegów WBH, WBC.

Analiza wariancji AF Friedmana wykazała, że czas oceny aktywności badanych enzymów istotnie różnicował wielkości przyrostów, jakie osiągały wszystkie badane enzymy. Wielkość odnotowanych zmian była silniej wyrażona po działaniu zabiegów ciepła dla zmian aktywności CK ($\chi^2=26,77$; $p=0,006$ niż zimna $\chi^2=116,9$; $p=0,04$, dla AST $\chi^2=20,00$; $p=0,009$ niż zimna $\chi^2=12,9$; $p=0,02$) podobnie dla aktywności ALT $\chi^2=23,00$; $p=0,003$ niż zimna $\chi^2=14,9$; $p=0,01$) podczas gdy zabiegów zimna dla przyrostów aktywności LDH ($\chi^2 =53,0$; $p=0,000$ vs ciepła $\chi^2=34,12$ $p=0,005$).

Test kolejności par Wilcoxon wykorzystany w ocenie istotności różnic w wielkości przyrostów aktywności wybranych enzymów wykazał istotnie różnicujący wpływ zabiegów zimna na przyrost aktywności CK w 24R ($p=0,004$), LDH w wysiłku ($p=0,03$), ALT w 1R ($p=0,02$) i AST w 1R ($p=0,01$) restytucji.

Test kolejności par Wilcoxon wykorzystany w ocenie istotności różnic w wielkości przyrostów aktywności wybranych enzymów wykazał istotnie różnicujący wpływ serii interwencji cieplnych (WBH) na przyrost aktywności CK w 24R ($p=0,009$), LDH w 24R ($p=0,001$), AST w 1R ($p=0,01$) oraz na ALT w 24R ($p=0,002$).

Porównując wielkości przyrostów aktywności badanych enzymów po serii zabiegów zimna i ciepła odnotowano istotne różnice w przyrostach aktywności LDH w wysiłku ($p=0,03$), ALT w wysiłku ($p=0,01$) i 24R ($p=0,005$) oraz AST w wysiłku ($p=0,008$) i w 1R ($p=0,005$) odpowiednio po serii zabiegów WBH i WBC (ryc. 8).

6. DYSKUSJA

Reakcja człowieka na przegrzanie organizmu /swoista/ do działania sauny była przedmiotem wielu publikacji naukowych. Podobnie jak liczne są doniesienia o efektach towarzyszących ekspozycji na działanie temperatur kriogenicznych na organizm. Z jednej strony literatura i badania naukowe dostarczają dowodów wskazujących na pozytywny wpływ kąpieli w saunie na zdolności termoregulacyjne, funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego, narząd ruchu i ogólne samopoczucie organizmu, a z drugiej strony na uzasadnione przeciwwskazania do jej stosowania. Podobnie stosowanie i wykorzystanie zabiegów zimna /przed, podczas czy po wysiłku/, często zależnie od formy podejmowanej aktywności fizycznej i warunków temperaturowych otoczenia, w których aktywność jest wykonywana, może przejawiać korzyści jak i negatywne skutki jego zastosowania. Dopiero w ostatnich latach ukazało się więcej publikacji zestawiających zmiany powstające w zakresie efektów działania obu tych stresorów temperaturowych, jednak wciąż jest niewiele doniesień porównujących wpływ regularnie powtarzanych sesji kąpieli w saunie i kriostymulacji u sportowców na cechy reakcji organizmu na wysiłek fizyczny /o stałym submaksymalnym obciążeniu/ i po jego zakończeniu.

6.1. Główne zmiany funkcjonalne i biochemiczne notowane po zastosowaniu interwencji termicznych w spoczynku

Wyniki uzyskane w obecnych badaniach wykazały, że po serii 10 kąpieli w saunie (WBH) dochodzi do istotnego zwiększenia objętości osocza krwi, obniżenia skurczowego ciśnienia tętniczego krwi i tętna, zwiększenia poboru tlenu, tempa procesów metabolicznych w spoczynku, jednak zmianom tym nie towarzyszą istotne zmiany masy i składu ciała, temperatury wewnętrznej, skóry i ciała. Seria 10 kąpieli WBH przejawiała umiarkowany wpływ na aktywności CK, gospodarkę elektrolitowo wodną oraz stężenie hormonów we krwi. Powyższe spostrzeżenia pozostają w zgodzie z wynikami prac w których stosowano zarówno krótko-, jak i średnioterminowe protokoły aklimacji cieplnej i obserwowano zwiększenie objętości osocza (PV od 3-22%), a także poprawę stabilności funkcji układu krążenia (*Périard i wsp., 2015*), równowagi płynów (*Kissling i wsp., 2019*) oraz poprawę tolerancji termicznej (*Périard i wsp., 2015*). Zwiększenie objętości krwi i osocza po adaptacji do ciepła może potencjalnie poprawiać wydajność pracy w gorącym jak i chłodnych warunkach temperaturowych otoczenia (VO_2max ; *Sawka et al., 1985*; *Lorenzo i wsp., 2010*), ekonomię

wysiłku (*Sawka i wsp., 1983*) i wpływać na zwiększenie obciążenia przy którym występuje próg mleczanowy (*Lorenzo i wsp., 2010*), najprawdopodobniej poprzez zmniejszenie utraty białek osocza (*Harrison i wsp., 1975, 1981*). Wyniki obecnych badań nie wskazują na istotny wzrost zawartości TP w osoczu w spoczynku po serii kąpieli w saunie, jednak biorąc pod uwagę prawie 10% zwiększenie objętości osocza po serii zabiegów WBH, a mimo to zachowanie stężenia białek osocza na zbliżonym do kontroli poziomie, można uważać, że, zaobserwowano cechy poprawy zachowania większej objętości krwi dzięki zwiększeniu sił koloidosmotycznych osocza (*Harison i wsp., 1981*) w wyniku przeprowadzonej pasywnej aklimacji cieplnej. Zgodnie z badaniami, aklimatyzacja cieplna może zwiększać podstawowe stężenie sodu, chlorków, białka całkowitego i albumin w surowicy (*Patterson, Stocks i Taylor, 2004; Sawka i Coyle, 1999; Senay, 1972; Senay i Kok, 1977*), ale nie wpływa na stężenie potasu (*Shido i wsp., 1999*).

Po serii 10 kriostymulacji całego ciała (WBC) odnotowano w spoczynku zwiększenie poboru tlenu, wyższe wartości RER i tempo metabolizmu jednak nie odnotowano istotnych zmian w masie i składzie ciała, ani w cechach funkcjonalnych układu krążenia takich jak: tętno, ciśnienie tętnicze krwi czy w temperaturach ciała w porównaniu do kontroli. Po serii zabiegów WBC, /w mniejszym stopniu niż po zabiegach WBH/, obserwowano niewielki wzrost objętości osocza, niewielkie spowolnienie pracy serca, jednak główne zmiany obserwowano w zachowaniu się wskaźników metabolicznych w tym obniżenie stężenia mleczanu, białka całkowitego (obniżenie stężenia), stężenia hormonów oraz elektrolitów, nie stwierdzono jednak istotnych zmian w spoczynkowych aktywnościach markerów tkankowych we krwi.

Porównując cechy funkcjonalne organizmu w spoczynku po zastosowaniu serii 10 interwencji cieplnych WBH oraz WBC, odnotowano istotne różnice w tempie procesów metabolicznych, bezwzględny stężeniu hormonów, aktywnościach badanych enzymów, czy stężeniu elektrolitów pomiędzy stosowanymi interwencjami cieplnymi. Duże różnice w bezwzględnych wartościach badanych zmiennych spowodowały, że w porównywaniu efektów działania pasywnej aklimacji do ciepła (WBH) i serii 10 kriostymulacji całego ciała (WBC) na zachowanie się odpowiedzi organizmu na wysiłek i po jego zakończeniu, wykorzystywano standaryzowane na spoczynek w każdej sesji, przyrosty badanych zmiennych, co pozwoliło na ujawnienie nie tylko cech zmienionych po działaniu określonej interwencji cieplnej na reakcjach organizmu na wysiłek, ale także na porównanie tych odpowiedzi i wykazanie ewentualnych podobieństw i różnic w tych odpowiedziach zależnych od typu zastosowanej interwencji cieplnej.

6.1.1. Część szczegółowa

6.1.1.1 Obciążenia wysiłkowe i czas wykonywania wysiłku (wytrzymałość czasowa) po serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji

Wysiłek fizyczny zależnie od jego typu, intensywności i czasu trwania może wywoływać istotne zmiany w funkcjach systemowych i czynnościach komórek. Wykonywaniu wysiłków wytrzymałościowych często towarzyszą liczne zmiany fizjologiczne, w tym kumulacja metabolitów, hipertermia, odwodnienie. Przyjmuje się, że w trakcie wykonywania wysiłku fizycznego zwiększone zostaje obciążenie układu krążenia, termoregulacji, występują zmiany elektrolitowo-wodne, metaboliczne, które łącznie przyczyniają się do rozwoju zmęczenia. Tempo narastania tych zakłóceń i ich amplituda jest determinowana przez wydajność funkcjonalną wszystkich systemów organizmu. Stąd wielkość zmian temperatury tkanek obciążonych wysiłkiem fizycznym, zmiany krążeniowe i metaboliczne są podstawowymi zmianami fizjologicznymi i elementami wnoszącymi istotny wkład do tempa rozwoju zmęczenia pracą oraz o wpływających na skuteczność metod wspomagających proces regeneracji po wysiłku (*White i Wells 2013*).

Wyniki uzyskane w obecnych badaniach nie wykazały istotnych różnic w medianach przyrostów objętości osocza i zmianach średniej masy ciała w odpowiedzi na wysiłek fizyczny o stałym submaksymalnym obciążeniu przed i po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych, choć zaznaczyły się tendencje do większej redukcji masy ciała w grupie korzystającej z serii 10 kąpeli w saunie/pasywna aklimacja cieplna, WBH). Odnotowano także różnice w wielkościach przyrostów tętna i ciśnienia tętniczego krwi, zależne od rodzaju zastosowanej przed wysiłkiem interwencji cieplnej.

Profil mocy podczas wysiłku i czas wykonywana wysiłku (TTW) był zbliżony we wszystkich sesjach wysiłkowych przed i po interwencjach cieplnych. W kilku pracach oceniano zależność między mocą a czasem trwania wysiłku, wykazując na jego związek z cechami reakcji fizjologicznych sportowca na wysiłek. Profile mocy i czasu trwania wysiłku są stosowane w sportach wytrzymałościowych (np. kolarstwie) w celu określenia wytrzymałości oraz fizycznych i fizjologicznych cech odpowiedzi organizmu sportowca na wysiłek (*Leo i wsp., 2022*). W obecnych badaniach kontrolowano średnią moc względną (W/kg m.c.) podczas wysiłku testowego oraz całkowity czas wykonywania testu i wykazano, że moc względna badanych nie różniła się istotnie w badanych sesjach wysiłkowych. *Lorenzo i wsp. (2010)* odnotowali poprawę średniej mocy o 12 W po zastosowaniu aklimacji cieplnej (HA). Jednak indukowanie HA we wspomnianych badaniach odbywało się poprzez 90 minutowy

wysiłek o małej intensywności wykonywany przez 10 dni w temperaturze 40°C i wilgotności względnej 30%. *Duvnjak-Zaknich i wsp.*(2018), również wykazali znaczną poprawę średniej mocy po zastosowaniu HA, przy czym indukcja HA polegała na wykonywaniu ćwiczeniu o kontrolowanym tempie przez 8 dni w temperaturze 35°C i wilgotności względnej 60% (*Duvnjak-Zaknich i wsp.*, 2018). Największą poprawę wydolności notowano w czasie wykonywania wysiłku do wyczerpania i następnie w próbie czasowej, średniej mocy, VO₂max i mocy szczytowej po zastosowaniu HA (*Lorenzo i wsp.*, 2010; *Sawka i wsp.*, 1985; *Garrett i wsp.*, 2012; *Racinais i wsp.*, 2015). Próby czasowe mają największe zastosowanie w sporcie i we wszystkich badaniach wykazano poprawę czasu wykonywania wysiłku po zastosowaniu HA. Również wyniki pochodzące z badań z zastosowaniem zabiegów zimna (*Hagner i wsp.*, 2009) wykazały, że seria 20 stymulacji o średniej temperaturze bodźca zimna – 130°C, przeprowadzona u zawodników sztuk walki, spowodowała wydłużenie czasu trwania ćwiczeń i zmniejszenie subiektywnego odczucia zmęczenia przy zwiększeniu średniej prędkości i kąta nachylenia bieżni podczas ćwiczeń według protokołu Bruce'a (*Hagner i wsp.*, 2009). W innym badaniu *Klimek i wsp.* (2010), obejmującym ocenę wpływu kriostymulacji całego ciała na wydolność tlenową i beztlenową wykazano, że trzy 10-minutowe sesje (średnia temperatura – 130°C) zwiększyły maksymalną moc beztlenową u mężczyzn, ale nie u kobiet, i nie wpłynęły na wydolność tlenową u żadnej z płci (*Klimek i wsp.*, 2011). Istnieją również doniesienia o poprawie tolerancji wysiłku po zastosowaniu terapii zimnem wyrażoną niższym stężeniem mleczanów, częstością skurczów serca podczas testu na ergometrze wiosłarskim u zawodników kadry olimpijskiej wiosłarzy (*Zalewski*, 2009).

Obecny protokół badań zakładał zachowanie stałej indywidualnie określonej intensywności we wszystkich próbach wysiłkowych i wykonywaniu wysiłku testowego maksymalnie do godziny (60 minut). Wyniki przeprowadzonych badań nie wykazały istotnych różnic w czasie wykonywania testu (TTW) przez badanych, jednak po zastosowanej pasywnej aklimacji do ciepła, czas wykonywania testu był o ok. 4 minuty dłuższy niż w kontroli. Czas wykonywania testu wysiłkowego po serii 10 kriostymulacji był zbliżony do warunków kontrolnych. Po żadnej z zastosowanych interwencji cieplnych nie odnotowano istotnych różnic w czasie wykonywania wysiłku testowego w związku z powyższym nie można stwierdzić, że zastosowanie serii 10 kąpeli w saunie czy serii kriostymulacji całego ciała znamienne poprawią wytrzymałość czasową elitarnych narciarzy biegowych w obecnym doświadczeniu.

6.1.1.2 Objętość osocza i cechy reakcji organizmu na wysiłek fizyczny po serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji

Cechy funkcjonalne oceniane podczas testu wysiłkowego po serii zabiegów WBH i WBC

We wszystkich seriach badawczych wykonywanie wysiłku fizycznego prowadziło do istotnych zmian tętna, temperatury wewnętrznej, ciśnienia oraz objętości osocza krwi. Badani uczestniczący w niniejszym doświadczeniu utrzymywali podobne submaksymalne obciążenie pracą (W/kg m.c.) podczas testów wysiłkowych przed i po interwencjach cieplnych, co oznacza, że osoby badane utrzymywały względnie stałe submaksymalne obciążenie podczas ćwiczeń oraz metaboliczną produkcję ciepła we wszystkich seriach badań.

Korzystanie z serii 10 kąpeli w saunie /pasywna aklimacja cieplna, spowodowało, że badani nabywali cechy fenotypowe świadczących o rozwoju aklimacji cieplnej, przejawiały się one: istotnym obniżeniem spoczynkowych wartości tętna i ciśnienia tętniczego krwi oraz ~10% zwiększeniem objętości osocza krwi. *Saat i wsp. (2005)* sugerowali, że zwiększenie objętości osocza jest istotną zmianą hemodynamiczną związaną z przystosowaniem do ciepła. W prezentowanym przez autorów badaniu stwierdzono zwiększenie objętości osocza po serii 10 sesji w saunie o 6,8%. Uważa się, że zwiększenie objętości krwi po aklimacji do ciepła, pośredniczy w zmniejszeniu spoczynkowych i wysiłkowych wartości HR poprzez adaptacyjny wzrost powrotu żylnego i obciążenia wstępnego. Chociaż skuteczne protokoły HA powodują liczne adaptacje fizjologiczne, szczególnie widoczne zmiany obejmują obniżenie wysiłkowej i spoczynkowej temperatury wewnętrznej i tętna, osocza, wcześniejsze rozpoczęcie pocenia się i większe wydzielanie potu. Adaptacje te przyczyniają się do poprawy stabilności układu sercowo-naczyniowego, termoregulacji, czyli procesów, które w połączeniu ze sobą poprawiają wydolność fizyczną i wyniki sportowe w upale (*Garrett i wsp., 2011; Costa i wsp., 2014; Périard i wsp., 2015*), oraz decydują o skutecznej regulacji ciśnienia tętniczego krwi w obliczu zwiększonej utraty płynów (*Taylor i Cotter, 2006*). Łącznie wszystkie te zmiany sprzyjają zmniejszeniu obciążenia termicznego i bardziej efektywnej wymianie ciepła (*Taylor i Cotter 2006; Pokora i wsp., 2021*) w związku z tym przyjmuje się, że zwiększenie objętości PV po aklimacji HA jest kluczową zmianą wpływającą na zwiększanie wydajności ćwiczeń wytrzymałościowych *Guy, i wsp. (2015)*, oraz ważną adaptacyjną zmianą w optymalizowaniu sprawności wytrzymałościowej (*Akerman i wsp., 2016; Periard i wsp., 2015*).

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że badani korzystając z serii 10 kąpeli w saunie nabywali cechy fenotypowe świadczących o rozwoju aklimacji cieplnej, jednak podczas testu całkowity przyrost HR w tej grupie badanych były większy niż w grupie

stosującej kriostymulację. Taki charakter zmian HR był niespodziewany biorąc pod uwagę korzyści, jakich powinien doświadczać organizm po adaptacji cieplnej w funkcjach układu krążenia podczas wysiłku. Uwidocznione podczas doświadczenia większe odkształcenie układu krążenia podczas wysiłku fizycznego w grupie WBH w porównaniu do grupy WBC może być jednak efektem usprawnienia reakcji termoregulacyjnej związanej z wydzielaniem potu, jednak z drugiej strony szybciej narastającego nieskompensowania deficytu płynów podczas wysiłku w tej grupie badanych, co mogło skutkować szybciej narastającym odwodnieniem organizmu. Przyjęty protokół badań zakładał, że w żadnej sesji wysiłkowej badani nie będą uzupełniali strat płynowych w trakcie trwania wysiłku. W badaniach *Macconey i wsp. (1999)* i *Robinson i wsp. (1995)* nie wykazano fizjologicznej lub sprawnościowej korzyści z nawadniania badanych podczas 1-godzinnej sesji intensywnych ćwiczeń w umiarkowanych warunkach temperatury otoczenia. Brak pozwolenia na przyjmowanie płynów podczas wysiłku /szczególnie u badanych poddanych i przejawiających cechy aklimacji cieplnej/ mógł jednak doprowadzić do narastającego podczas ćwiczeń niedostatecznego nawodnienia, mimo że próby wysiłkowe zawsze rozpoczynano w warunkach prawidłowego nawodnienia badanych, co potwierdzano oceną ciężaru właściwego moczu przed przystąpieniem do badań wysiłkowych i co znalazło także odzwierciedlenie w wartościach osmolalności osocza badanych przed rozpoczęciem testu (tabela 4). Pewne różnice ($p > 0,05$) świadczące o zwiększonej po aklimacji do ciepła utracie płynów ustrojowych, obserwowano w obecnych badaniach /większe względne zmniejszenie masy ciała (tabela 10). Jak donoszą *Kenney i wsp. (2004)*; *Tyler i wsp. (2016)* zwiększonej utracie potu z całego ciała, towarzyszy postępujące odwodnienie i obciążenie układu krążenia. W związku z powyższym, należy przypuszczać, że powodem większego w grupie aklimowanej do ciepła przyrostu HR i zmian ciśnienia tętniczego krwi podczas testu była narastająca niedostateczna ilość płynów w ustroju w warunkach usprawnionej reakcji wydzielania potu i zwiększonej utraty potu. Wydaje się, że zapotrzebowanie na wymianę płynów jest większe po osiągnięciu adaptacji cieplnej, ze względu na zwiększoną reakcję pocenia się, co skutkowało utratą korzyści z nabytego dostosowania do ciepła w sytuacji zaniechania suplementowania płynami podczas wysiłku nawet w warunkach umiarkowanej temperatury otoczenia osób wykazujących fenotypowe cech adaptacji do ciepła.

Dane literaturowe dotyczące zmian kluczowych wskaźników sercowo-naczyniowych u ludzi narażonych na działanie temperatur kriogenicznych są niejednoznaczne. Niektóre z nich donoszą o znaczącym, ale krótkotrwałym wzroście skurczowego i rozkurczowego ciśnienia tętniczego po WBC zarówno u osób z normotensją, jak i z łagodnym nadciśnieniem

(*Westerlund i wsp., 2004; Fricke, 1989; Taghawinejad i wsp., 1989, Komulainen i wsp., 2004*). Inni autorzy donoszą, że stres termiczny (-110°C) nie powoduje zmian w skurczowym i rozkurczowym ciśnieniu tętniczym, a jedynie zmniejszenie częstości skurczów serca (*Zalewski, 2009*) u sportowców (wioślarze). Klimek i wsp. (2010) stosując w badaniach serię 10 trzyminutowych ekspozycji na działanie temperatur kriogenicznych /kriostymulacji u mężczyzn i kobiet/ podobnie jak w obecnych badaniach nie odnotowali istotnych różnic w wartościach tętna i ciśnienia przed i po serii zabiegów WBC. W badaniach Lubkowskiej i Szyguły (2010) zaobserwowano statystycznie istotny wzrost skurczowego ($p \leq 0,001$) i rozkurczowego ($p \leq 0,05$) ciśnienia krwi bezpośrednio po 3 minutach kriostymulacji całego ciała. Zmiany te nie utrzymywały się po kriostymulacji (*Lubkowska i Suska 2011*). W innym badaniu, w którym zastosowano 15 zabiegów kriostymulacji ($-130^{\circ}\text{C}/3 \text{ min}$), średni wzrost SBP i DBP pierwszego dnia wynosił 20 mmHg i 6 mmHg. Wszystkie obserwowane zmiany w układzie krążenia ustępowały po 10 minutach odpoczynku w pozycji siedzącej. Zmianom ciśnienia tętniczego towarzyszyło zmniejszenie częstości akcji serca o 8 ± 4 uderzeń na minutę. Wymienione zmiany nie różniły się w 1, 5, 10 i 15 dniu eksperymentu, Dlatego zdaniem autorów tych badań nie dochodzi do wykształcenia zmian adaptacyjnych do zimna przejawiających się w istotnych zmianach zachowania się ciśnienia tętniczego i tętna w odpowiedzi na powtarzający się stres związany z zimnem (*Lubkowska i Szyguła 2010*). W badaniach Zalewskiego i wsp. (2013) stwierdzono natomiast, że intensywne schłodzenie ciała za pomocą bodźca kriogenicznego wywołuje zmiany adaptacyjne w obrębie układu sercowo-naczyniowego, a głównym efektem oddziaływania bodźca kriogenicznego związanym z translacją krwi obwodowej, jest zmianą objętości krwi centralnej i czułości odruchu z baroreceptorów tętnicznych (*Zalewski, 2013*).

W obecnym badaniu wykazano, że stosowanie serii 10 zabiegów krioterapii całego ciała nie powoduje u badanych znamienych różnic w funkcjach układu krążenia podczas testu wysiłkowego w porównaniu do badań kontrolnych, jednak i w tej grupie badanych odnotowano zwiększenie objętości osocza po serii zabiegów WBC o ok. +3%, tempa procesów metabolicznych i poboru tlenu w spoczynku oraz nieznaczne obniżenie HR. Zwiększenie objętości osocza po serii zabiegów kriostymulacji było prawdopodobnie związane ze zwiększeniem centralnej objętości krwi, przesunięciem płynów z przestrzeni wewnątrzkomórkowej i śródmiąższowej (pozanaczyniowej) do przedziałów wewnątrznaczyniowych w następstwie działania zimna oraz jak skomentowano w dalszej części dyskusji, aktywacją mechanizmu zwiększenia retencji płynów (w obecnych badaniach odnotowano istotnie wyższe stężenie aldosteronu w spoczynku po serii zabiegów

kriostymulacji). Również w badaniach innych autorów notowano zauważalne zmiany w parametrach hematologicznych krwi po serii zabiegów WBC. Zmiany te powodowały umiarkowane obniżenie Hb i HCT oraz zwiększenie MCV w spoczynku po 12 zabiegach WBC w grupie badanych o wysokim poziomie aktywności fizycznej oraz w grupie o umiarkowanej aktywności fizycznej, choć zmiany badanych wskaźników hematologicznych mieściły się w przedziale referencyjnym dla zdrowych osób (*Lubkowska i Szyguła 2010*), a zdaniem Telegów i wsp. (2015) zmiany te (zmniejszenie liczby RBC i Hb) mogą korzystnie wpływać na właściwości reologiczne krwi poprzez zmniejszenie jej lepkości, jeśli ich wartości mieszczą się w przedziale referencyjnym dla zdrowia.

6.1.1.3 Ocena zmian temperaturowych po zastosowanych seriach interwencji termicznych

We wszystkich seriach badawczych podczas wysiłku odnotowano wzrost temperatury wewnętrznej i zmiany temperatury na powierzchni skóry. Wysiłkowy przyrost temperatury wewnętrznej po serii 10 kąpeli w saunie był istotnie niższy niż w badaniach po zastosowaniu serii kriostymulacji, jednak nie różnił się istotnie w porównaniu do badań kontrolnych. Przyrosty temperatury ciała podczas wysiłku (ΔT_b) były zbliżone po obu interwencjach cieplnych, a średnia temperatura ciała (T_b) i skóry (T_{sk}) w grupie WBC osiągała podczas wysiłku istotnie wyższe wartości niż w grupie WBH.

Istotny wpływ rodzaju stosowanych interwencji cieplnych (WBH czy WBC) przed wysiłkiem odnotowano w średnich temperaturach skóry i T_b oraz w zmianach lokalnych temperatur skóry w odpowiedzi na wysiłek, przy braku występowania istotnych różnic w tych zmiennych pomiędzy badanymi grupami w spoczynku. Podczas wysiłku proporcjonalnie do wielkości obciążenia organizmu pracą wrasta tempo procesów metabolicznych w pracujących mięśniach i metaboliczna produkcja ciepła. Ciepło to odbierane jest przez płynącą krew i przenoszone na powierzchnię ciała, skąd jest rozpraszane. Chociaż różne stany fizjologiczne organizmu oraz działanie czynników zewnętrznych wywierają modulujący wpływ, na temperaturę wnętrza ciała, to najskuteczniejszym sposobem rozpraszania nadmiaru ciepła metabolicznego powstającego podczas wysiłku jest parowanie wydzielonego potu z powierzchni ciała, dlatego bezpośrednio po wysiłku fizycznym temperatura powierzchni ciała może przyjmować niższe wartości niż przed wysiłkiem (*Schlader i wsp., 2010*). Jeśli szybkość produkowanego ciepła przekracza możliwość jego rozpraszania dochodzi do kumulowania ciepła w organizmie, co tłumaczy obserwowany wzrost temperatury wewnętrznej podczas wykonywania pracy fizycznej (*Febraio, 2001*). Temperatura ciała (T_b) jest miernikiem, który w niniejszych badaniach został wykorzystany do scharakteryzowania stanu magazynowania

ciepła w organizmie. Podczas gdy T_{ty} – regulowana centralnie wartość temperaturowa (temperatura wewnętrzna) jest wyrazem zmian w równowadze cieplnej (wytwarzanie i rozpraszanie ciepła) w organizmie. Biorąc pod uwagę, że przyrost temperatury wewnętrznej odzwierciedla zmiany w równowadze pomiędzy szybkością magazynowania i rozpraszania ciepła z organizmu wykazany w obecnych badaniach mniejszy przyrost temperatury wewnętrznej podczas wysiłku, przy zbliżonej wielkości metabolicznej produkcji ciepła i czasie wykonywania testu po serii zabiegów WBH, świadczy o pozytywnej adaptacji cieplnej lub bardziej efektywnej funkcji termoregulacyjnej w grupie badanych korzystającej z serii zabiegów kąpieli w saunie niż kriostymulacji całego ciała oraz występowaniu mniejszego odkształcenia cieplnego /zdefiniowanego, jako wielkość odchylenia T_{ty} od wartości spoczynkowej/ po adaptacji cieplnej.

Z drugiej strony wielkość magazynowana ciepła podczas przeprowadzonego testu wysiłkowego była większa w grupie korzystającej z serii zabiegów WBC. Interwencje chłodzące mogą zwiększyć zdolność do magazynowania ciepła, osłabić wywołany wysiłkiem wzrost temperatury ciała i przyspieszyć regenerację po intensywnym wysiłku (*Bongers i wsp., 2017*). Kriostymulacja szczególnie modyfikuje temperaturę skóry (średnia temperatury skóry po 3-minutowej ekspozycji obniża się o ok. $\sim -8^{\circ}\text{C}$ w kriosaurie; $\sim -11^{\circ}\text{C}$ w statycznej zimnej komorze WBC; oraz $\sim -14^{\circ}\text{C}$ w komorze WBC z wymuszoną konwekcją (*Bouzigon i wsp., 2016*). Obniżenie temperatury skóry i obwodowe zwężenie naczyń krwionośnych skóry prowadzi do zmniejszenia obwodowego przepływu krwi i przesunięcia krwi do krążenia centralnego oraz szybkiego wzrostu centralnej objętości krwi. Skurcz naczyń krwionośnych, który wywołany ekspozycją na zimno, może zatem odgrywać istotną rolę w zmniejszaniu ilości krwi w mięśniach i wokół nich oraz w niektórych narządach (*Charkoudian, 2003*), w zmniejszaniu przepuszczalności i dyfuzji płynów w przestrzeni śródmiąższowej, która może wystąpić po wysiłku fizycznym i zmniejszeniu rozwoju obrzęku, oraz w zmniejszaniu stanu zapalnego (*Banfi i wsp., 2009*). Biorąc pod uwagę zmiany w krążeniu skórnym można przypuszczać, że regularne prowokowane zimnem zmiany w kontroli naczynioruchowej, mogły wpływać na rozmieszczenie płynów i ich dostępność w centralnym systemie naczyniowym i być może oddziaływały i zmieniały wrażliwość mięśniówki naczyń skórnych na działanie mediatorów uwalnianych w warunkach stresu zimna i być może podczas wysiłku fizycznego i w konsekwencji modulując wielość translokacji krwi do skóry podczas wysiłku fizycznego.

W obecnym doświadczeniu odnotowano jednak, że wykonywanie wysiłku fizycznego po serii zabiegów kriostymulacji nie skutkowało istotnymi różnicami w zmianach wartości

tętna, ciśnienia tętniczego czy temperatury wewnętrznej i ciała w porównaniu do cech odpowiedzi organizmu na wysiłek przed zastosowaniem tej interwencji, ale zaznaczyły się istotnie różnice w lokalnych zmianach temperatury skóry, temperaturze ciała oraz średniej temperaturze skóry badanych. Temperatura skóry osiągała istotnie wyższe wartości w odpowiedzi na wysiłek po serii WBC niż w kontroli. Ponadto odnotowano istotnie różnice w lokalnych zmianach temperatury skóry, temperaturze ciała oraz przyroście średniej temperatury skóry badanych, która osiągała istotnie wyższe wartości po serii WBC niż w po serii zabiegów WBH. Najczęściej powtarzana ekspozycja na działanie ciepła prowadzi u ludzi do wytworzenia dość jednolitego wzorca dostosowań fizjologicznych, który ma zapewnić wyraźną przewagę termoregulacyjną w zakresie ochrony organizmu przed przegrzaniem. Ponadto stosowany stres cieplny zwykle wiąże się z ogrzewaniem całego ciała, a powstałe w jego wyniku dostosowania zazwyczaj wpływają na reakcję całego ciała. W przeciwieństwie do tego częste narażanie organizmu na stres zimna, zarówno w przypadku długotrwałych okresów lub serii powtarzających się, przerywanych okresów ekspozycji na zimno, prowadzić może do indukowania rozwoju przystosowań fizjologicznych w reakcjach na zimno w drodze trzech różnych wzorców przystosowań fizjologicznych: 1) przyzwyczajenie, 2) dostosowanie metaboliczne i 3) dostosowanie izolacyjne (*Kwiecień i wsp. 2020*). Wzorce te różnią się znacznie, zarówno pod względem jakościowym i ilościowym, jak i charakterem towarzyszących im dostosowań fizjologicznych, a także pod względem korzyści termoregulacyjnych wynikających z nabywania przez organizm tych dostosowań (*Castellani i wsp., 2016*).

Cechy dotyczące zmian skórno-przepływu krwi, jako przystosowania po stosowaniu bodźca ciepła wydają się być niejasne, przy czym w niektórych badaniach odnotowano niezmienny (*Nielsen i wsp., 1997; Regan i wsp., 1996*) lub zmniejszony skórny przepływ krwi (*Chen i wsp., 2013*) po adaptacji HA. Z drugiej strony, po 5-10 dniach aklimatyzacji cieplnej obserwowano zwiększoną wrażliwość naczyń krwionośnych skóry na acetylocholinę (*Lorenzo, 2010*) i niższy próg temperatury wewnętrznej dla uruchomienia reakcji wazodylatacji skóry podczas pasywnego ogrzewania dolnej części ciała (*Amano i wsp., 2015*). Pomimo ograniczonych informacji na temat zmian skórno-przepływu krwi w wyniku pasywnych interwencji HA, panuje ogólne przekonanie co do tego, że po HA maksymalny skórny przepływ krwi pozostaje niezmienny (*Périard i wsp., 2015*). Z drugiej strony częsta ekspozycja na zimno i działanie kriostymulacji ogólnoustrojowej wiąże się z chłodzeniem obszaru powierzchni ciała, skóry podczas gdy temperatura wewnętrzna pozostaje niezmienna lub nieznacznie obniża się po zakończeniu jej działania (*Castellani i wsp., 2016; Davis i wsp. 2019;*

Brazaitis i wsp., 2014). Jak uważają *Castelliani i wsp. (2016)* lokalne lub regionalne zmiany w reakcjach fizjologicznych mogą być łatwiejsze do zaobserwowania przy przewlekłej ekspozycji na zimno niż przy przewlekłej ekspozycji na ciepło. Wydaje się, że różne mogą być zatem fizjologiczne wzorce dostosowań, nabywane w warunkach stresu i narażenia na działanie zimna czy ciepła, co może mieć wpływ na odmienne zachowanie się zmian temperatur skóry podczas wysiłku w warunkach umiarkowanej temperatury otoczenia w obecnych badaniach i wpływać na promowanie różnych reakcji rozpraszania ciepła z organizmu (wazodylatacja skórna, reakcja wydzielania potu) i/lub wpływać na efektywność i udział reakcji wydzielania potu w chłodzeniu organizmu podczas wysiłku po serii WBH w porównaniu do grupy WBC. Można przypuszczać, że reaktywność naczyń krwionośnych skóry może być zmieniona po serii zabiegów kriostymulacji, co wynika z faktu, że jedną z następczych reakcji po działaniu zimna na krążenie skórne jest indukowane zimnem rozszerzenie naczyń krwionośnych, co oznacza, że po początkowej ekspozycji na zimno i wynikającej z niej wazokonstrykcji naczyń, po każdej ekspozycji, obserwuje się okres rozszerzenia naczyń, który umożliwia powrót ciepłej krwi do palców i innych dystalnych części ciała. Wiadomo, że ta okresowa, wywołana zimnem wazodylatacja odzwierciedla rozszerzenie naczyń zarówno w mięśniach, jak i w naczyniach skórnych (*Cheung i Daanen, 2012*) i jest prawdopodobne, że stymuluje poprawę funkcji naczyń i stanu zdrowia krążenia obwodowego.

Reasumując można stwierdzić, że cechy odpowiedzi systemowych na wysiłek fizyczny po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych wskazują, że oba bodźce silnie oddziałują na zachowanie się temperatury ciała, temperatury skóry: lokalne i średnie, funkcje układu krążenia, podczas wysiłku o zbliżonym obciążeniu względnym. Cechy reakcji układu krążenia i termoregulacji uwidaczniają występowanie różnic po odmiennych interwencjach cieplnych w obciążeniu układu krążenia, temperaturze skóry i kumulacji ciepła podczas testu, które nie skutkowały istotnymi różnicami w bezwzględnych zmianach objętości osocza i masy ciała. Zwiększona po adaptacji do ciepła możliwość produkowania i wydzielania potu podczas testu wysiłkowego poprawiła możliwość skuteczniejszego rozpraszania nadmiaru ciepła z organizmu (w warunkach termoneutralnych otoczenia), co przejawiało się mniejszym przyrostem temperatury wewnętrznej i prawdopodobnie większym chłodzącym efektem parującego potu w obszarach klatki piersiowej i uda, jednak bez uzupełniania start wody podczas wysiłku w tej grupie badanych prowadziła do znacznie większego „odkształcenia” obciążenia układu krążenia, niż w kontroli i grupie korzystającej z serii zabiegów zimna. Z drugiej strony seria 10 ekspozycji na działanie temperatur kriogennych spowodowała, że podczas wysiłku w porównaniu do warunków wysiłku kontrolnego i wysiłku wykonywanego

po serii kąpeli w saunie promowana była wazodylatacja skórna /lub zmieniona była efektywności reakcji wydzielania potu w chłodzeniu organizmu podczas wysiłku i rozpraszaniu ciepła z organizmu.

6.2. Wpływ serii 10 zabiegów cieplnych i kriostymulacji całego ciała na aktywność wybranych enzymów tkankowych, stężenie hormonów i wybranych elektrolitów we krwi

6.2.1. Indukowana działaniem serii zabiegów zimna, ciepła zmiany biochemiczne w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu

Wysiłkowy i środowiskowy stres metaboliczny zwiększa mitochondrialną produkcję energii, co w znacznym stopniu przyczynia się do zwiększonego wytwarzania reaktywnych form tlenu (ROS) w komórce mięśniowej, i następnie może prowadzić do zaburzeń struktury i przepuszczalności sarkolemy i spowodować uwolnienie białek wewnątrzmięśniowych/wątrobowych do krwi. Stąd ocena zmian aktywności enzymów mięśni szkieletowych w surowicy jest wykorzystywana, jako marker stanu czynnościowego tkanki mięśniowej, (*Branaccio i wsp., 2007*). W niniejszych badaniach dla oceny zmian integralności błon komórkowych wykorzystano analizę zachowania się aktywności enzymów tkankowych m.in. kinazy kreatynowej CK, dehydrogenazy mleczanowej LDH, aminotransferazy asparaginianowej AST i aminotransferazy alaninowej ALT we krwi (*Koutedakis i wsp., 1993*) z założeniem, że mięśnie szkieletowe zawierają niższe stężenia ALT i ASP niż wątroba, dlatego podwyższone aktywności aminotransferaz mogą być bardziej swoiste dla zmian w komórkach wątrobowych.

Podjęcie w badaniach oceny zmian aktywności wspomnianych enzymów podyktowane było występowaniem kilku potencjalnych przyczyn, które mogą powodować wzrost ich aktywności we krwi, były to: typ pracy fizycznej – obejmujący wysiłek biegowy na bieżni, w którym praca mięśniowa obejmowała połączenie skurczów koncentrycznych i ekscentrycznych (*Armstrong i wsp., 1983; Noakes, 1987; Pokora i wsp., 2014*) oraz zastosowanymi interwencjami termicznymi działającymi na organizm, które mogą działać modulująco na tempo procesów metabolicznych i przepuszczalność błon komórkowych, stąd ocena zmian aktywności enzymów komórkowych we krwi mogła dostarczyć interesujących informacji na temat oddziaływania serii zabiegów termicznych na stan funkcjonalny mięśni/wątroby w spoczynku oraz na przebieg regeneracji powysiłkowej.

Aktywność badanych markerów enzymatycznych w spoczynku była zróżnicowana jednak mieściła się w granicach norm fizjologicznych. Korzystanie z zabiegów WBC istotnie

zwiększyło przyrost aktywności LDH podczas wysiłku, podczas gdy po zakończeniu testu w okresie restytucji powysiłkowej przyrosty aktywności wszystkich badanych enzymów: CK, LDH, ALT i AST osiągały istotnie niższe wartości niż przed zastosowaniem zabiegów zimna.

Bardzo zbliżony charakter zmian obserwowano w zachowaniu się aktywności badanych enzymów w odpowiedziach na wysiłek i po jego zakończeniu po zastosowaniu serii kąpeli w saunie. Seria WBH istotnie zmniejszyła wielkości przyrostów aktywności badanych enzymów we krwi w okresie restytucji w porównaniu do badań kontrolnych. Odnotowano, zatem, podobieństwo w zachowaniu się aktywności badanych enzymów w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu po stosowaniu serii zabiegów kriostymulacji całego ciała i po serii kąpeli w saunie. Podobieństwa przejawiały się w ograniczaniu wielkości zmian aktywności CK w restytucji, która po obu typach interwencji cieplnych osiągała istotnie niższe aktywności w 24 h restytucji niż w badaniach kontrolnych (ryc. 6). Różnice natomiast notowano głównie w wielkościach przyrostów aktywności badanych enzymów podczas wysiłku i po jego zakończeniu.

W kontekście wyników badań podejmujących problem regeneracji po wysiłku fizycznym, zwracano uwagę na fakt, że ekspozycja na zimno która prowadzi do obniżenia temperatury skóry i mięśni, może zmniejszyć aktywność enzymów mięśniowych, metabolizm, stan zapalny i wtórną degradację po niedotlenieniu i pomóc w regeneracji (*Bouzigon i wsp., 2016 Charkoudian, 2003 Leader i wsp., 2012*). W badaniu przeprowadzonym przez Ziemann i i wsp. (2012) zaobserwowano obniżenie (o około 30%) aktywności CK we krwi po wielokrotnej ekspozycji na WBC w porównaniu z grupą kontrolną. Woźniak i wsp. (2007) wykazali, że aktywność CK była o 34% niższa po włączeniu kriostymulacji sześć dni przed rozpoczęciem protokołu treningowego w porównaniu z warunkami bez leczenia. W innym badaniu Sutkowy i wsp. (2014) w którym aplikowano WBC dwa razy dziennie podczas sześciodniowego okresu treningowego w grupie wioślarzy autorzy stwierdzili istotne zmiany aktywności CK w stosunku do wartości wyjściowych zarówno w warunkach kontrolnych, jak i w warunkach leczenia, jednak bez zastosowania WBC u sportowców, notowano o 31% większy wzrost CK niż po zastosowaniu terapii WBC. Również liczne inne wyniki badań (*Banfi i wsp., 2009; Duqué i wsp., 2005; Lubkowska i wsp., 2008; Lubkowska i wsp., 2009; Miller i wsp., 2010; Lubkowska i wsp., 2012; Hausswirth i wsp., 2013*) wskazują na ograniczenie ucieczki enzymów komórkowych (CK i LDH) do krwiobiegu (LDH) (*Rossato i wsp., 2015*) po zastosowaniu działania zimna. Zarówno *Hausswirth (2011)*, jak i *Fonda (2013)* nie stwierdzili istotnych zmian CK po protokołach wykorzystujących odpowiednio trzy lub sześć ekspozycji na WBC. Wyniki ich badań sugerują, że może występować zależność

wielkości zmian aktywności CK we krwi od liczby zabiegów WBC stosowanych podczas procesu regeneracji.

Wyniki obecnych badań wykazały, że również seria 10 kąpiele w saunie (WBH) spowodowała istotne obniżenie aktywności CK we krwi w 24 h restytucji w porównaniu do testu wykonanego przed interwencjami cieplnymi. Hassan i wsp. (2011) porównywali wpływ zanurzenie w ciepłej wodzie (38°C - 30 minut) z efektami zanurzenia w zimnej wodzie (20°C, 30 minut) oraz z grupą kontrolną, w której nie stosowano żadnego leczenia, na następstwa ekscentrycznych ćwiczeniach ścięgnię szyjnego u 60 młodych, wysportowanych mężczyzn i wykazali, że zastosowanie ciepłej wody znacząco zmniejszyło stężenie markerów reakcji stresowej mięśni, w tym aktywność kinazy kreatynowej i stężenie mioglobiny we krwi, w porównaniu z zastosowaniem zimnej wody lub z grupą kontrolną. Dostępne są również dowody na to, że ogrzewanie mięśni na 1 dzień przed rozpoczęciem ćwiczeń ekscentrycznych może działać ochronnie na mięśnie szkieletowe *Nosaka i wsp. (2007)* i stosowanie ciepła zostało zasugerowane, jako potencjalna interwencja terapeutyczna w celu ograniczenia uszkodzeń mięśniowych indukowanych wysiłkiem (*Morton i wsp., 2009; Hafen i wsp., 2018; Ihsan i wsp., 2020*), poprawy regeneracji siły mięśniowej, wytrzymałości mięśniowej i zmniejszenia odczuwania bolesności mięśniowej po skurczach ekscentrycznych (*Nosaka i wsp., 2007; Kim i wsp., 2019*).

Reasumując należy stwierdzić, że obie formy interwencji cieplnych zastosowane w badaniach przyczyniły się do obniżeniem aktywności CK we krwi po wysiłku wskazując na poprawę procesu regeneracji po wysiłku, choć być może na drodze uruchomienia różnych mechanizmów. Mięśnie szkieletowe zawierają niższe stężenia ALT niż wątroba, dlatego u zdrowych zawodników ustalenie przyczyny podwyższonych aktywności aminotransferaz we krwi po serii 10 kąpiele w saunie może stanowić trudny problem diagnostyczny. Jednak wyniki przeprowadzonych badań wskazują na istotne różnice w zachowanie się aktywności właśnie tych enzymów we krwi w następstwie odmienny interwencji cieplnych stosowanych u badanych przed wysiłkiem, co wymaga dalszych badań.

6.2.2. Hormony i wysilek

Narażenie na działanie bodźców zimna, jak również ekspozycja na wysokie temperatury wywołuje silne reakcje stresowe organizmu, których skutki mogą być obserwowane przez kilka godzin po zakończeniu działania zabiegu termoterapii. Dlatego w badaniach podejmujących ocenę efektów interwencji termicznych często zwracano uwagę czy zabiegi cieplne zdolne są aktywować układ współczulno-nadnerczowy, modulować

wydzielanie noradrenaliny, adrenaliny czy kortyzolu. W większości badań w tym zakresie koncentrowano się na monitorowaniu kinetyki i/lub ocenie zachowania się stężeń różnych hormonów w odpowiedzi na narażenie na działanie zdefiniowanego stresora przyjmując, że zmiany (lub brak zmian) w parametrach endokrynologicznych może stanowić istotną informację o wielkości odkształcenia, jaki w organizmie indukuje stresor i/lub adaptacji nabywanej przez organizm na działania stresora.

Według wielu badaczy jednorazowa ekspozycja na działanie zimna (zabieg w kriokomorze, zanurzenie w zimnej wodzie) jest silnym bodźcem, który wyzwała reakcję stresową, o czym świadczą wykazywane w badaniach zwiększone stężenia noradrenaliny, adrenaliny i ACTH (*Leppäluoto, 2008; Hauswirth, i wsp., 2013; Broatch, 2019*). Odmiennego zdania jest Fricke i wsp. (1989), którzy u pacjentów z zapalnymi chorobami reumatycznymi, po 2-3 minutowym pobycie w temperaturze – 110°C, nie wykazali zmian w stężeniu ACTH, kortyzolu i adrenaliny, a jedynie niewielki wzrost stężenia noradrenaliny. Huttunen i wsp. (2001) swoich badaniach wykazali, że wielokrotna ekspozycja na zimno powoduje mniejszy wzrost stężenia katecholamin niż pojedynczy zabieg, a *Jansky i wsp. (1996)* wykazali brak zmian w zakresie reaktywności współczulnego układu nerwowego w następstwie działania zimna na organizm. W badania poruszano także problem oddziaływań bodźca ciepła na stężenie hormonów stresu. Wyniki tych badań wykazały, że korzystanie z kąpieli w saunie wpływa na układ adrenergiczny, gruczoły dokrewne, zwłaszcza nadnercza (stymulowane zarówno przez układ podwzgórzowo-przysadkowo -nadnerczowy) (*Pilch i wsp., 2013; Silva i wsp., 2019; Costello 2018; Moss i wsp., 2020*) jak i układ renina-angiotensyna-aldosteron (*Kirby i Convertino 1986; Nielsen i wsp., 1993*).

Wyniki obecnych badaniach wykazały, że spoczynkowe stężenie noradrenaliny w osoczu było obniżone po serii zabiegów WBH, ale nie zmieniło się po zastosowaniu serii kriostymulacji. Ponieważ noradrenalina pochodzi głównie z zakończeń nerwów współczulnych, można przypuszczać, że seria zabiegów kriostymulacji nie indukowała znamiennej większej aktywności współczulnego układu nerwowego przed rozpoczęciem wysiłku, podczas gdy pasywna aklimacja cieplna znamienne obniżyła aktywację tego układu. Zmiany w układzie endokrynnym są krótkotrwałe i nie mają trwałych skutków (*Kukkonen-Harjula i Kauppinen 1988*). Wyniki z aktualnego badania mogą wskazywać, że nabycie cech aklimacji cieplnej umożliwiło badanym wykonywanie ćwiczenia przy zbliżonym do kontroli poziomie stresu z wyraźnie przewagą zmniejszenia napięcia układu współczulnego po serii zabiegów kąpieli w saunie w porównaniu do stosowania serii zabiegów kriostymulacji.

Ponadto w obecnych badaniach obserwowano, że zarówno korzystanie z serii zabiegów ciepłych jak i serii zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej dochodzi jedynie niewielkiego obniżenia stężenia kortyzolu we krwi w porównaniu do wyników badań przed zastosowaniem interwencji ciepłych. Doniesienia na temat zmian w stężeniu kortyzolu w następstwie działania stresu zimna są rozbieżne. Wyniki badań *Ziemann i wsp., (2012)*, w których oceniano stężenie kortyzolu, wykazały, że występuje wzrost poziomu kortyzolu w grupie poddanej krioterapii. Wyniki tych badań są przeciwne do wyników badań *Corbet i wsp., (2014)* i, w których stwierdzono obniżone stężenie tego hormonu u uczestników poddanych działaniu WBC, *Mila-Kierzenkowska i wsp. (2007)* nie stwierdzili istotnego wpływu stosowania WBC na stężenie kortyzolu w ślinie.

Ocenę zmian stężenia kortyzolu we krwi prowadzono także w związku z działaniem ciepła na organizm. *Silva i wsp. (2019)*, wykazali, że stężenie kortyzolu wzrasta początkowo w sesji ćwiczeń w upale. Po HA autorzy odnotowali osłabiony wzrost stężenia kortyzolu we krwi – wyniki te są sprzeczne z obserwacjami *Costello i wsp. (2018)* oraz *Garrett i wsp. (2009)*, ale zgodne z *Watkins i wsp. (2008)*, *(Pilch i wsp., 2013)*, którzy odnotowali obniżenie stężenia kortyzolu po 7 dniach HA. *Costello i wsp. (2018)* nie odnotowali statystycznego obniżenia stężenia kortyzolu po HA, ale zauważyli, że istnieje „tendencja” do obniżania stężenia kortyzolu po HA, a zatem wydaje się, że odpowiedź kortyzolu na ćwiczenia w upale może być wrażliwa na adaptację ciepłą. Zdaniem *Moss i wsp., (2020)* ocena zmian stężenia kortyzolu, choć pomocna w ocenie adaptacji do ciepła, ze względu na duże różnice w obrębie i pomiędzy badaniami z zastosowaniem ciepła może nastroczać trudności w interpretacji i porównywaniu wyników badań.. Chociaż obecne badanie dostarcza nowych danych dotyczących odpowiedzi hormonów nadnerczy na regularne stosowanie odmiennych temperaturowo termoterapii, uzasadnione są dalsze prace mające na celu wyjaśnienie ich odpowiedzi.

6.2.3. Oddziaływania serii zabiegów ciepłych i kriostymulacji na równowagę płynów ustrojowych

Zarówno ekspozycja na działanie stresu ciepła, jaki i zimna zdolna jest oddziaływać na równowagę płynów ustrojowych (*Heinonen, i Laukkanen, 2018*).

Narażenie na zimno może powodować znaczną utratę płynów, prowadząc do odwodnienia 2-5% masy ciała (*O'Brien i wsp., 1996*) co związane jest z występowaniem diurezy wywołanej zimnem, zmniejszaniem dowolnego przyjmowania płynów, zmniejszeniem odczuwania pragnienia i zwiększoną niewyczuwalną utratą wody (*Kenefick i wsp., 2004*). Z drugiej strony zwiększony napływ krwi do krążenia centralnego po zabiegach kriostymulacji

i zwiększone prawdopodobnie wydzielanie przedsionkowego peptydu natriuretycznego w wyniku hiperemii spowodowanej tym napływem, mogło sprzyjać powstawaniu deficytu płynów z powodu hamowania układu renina-angiotensyna-aldosteron, diurezy i wydalania Na⁺ (Sawka i wsp., 1992). (Young i wsp., 1987; Freund i Young, 1996) obserwowali, że podczas stresu zimna występuje odwodnienie izotoniczne i dochodzi do zmniejszenia objętości krwi (osocza), na co nie wpływa stan aklimatyzacji (Young i wsp., 1987; Freund i Young 1996). Ochłodzenie całego ciała może zmniejszyć objętość osocza, jeśli chłodzenie ciała odbywa się w warunkach lądowych o ~12% i o ~17% w wodzie (Young i wsp., 1987; Bass i Henschel 1956). Wydaje się, że ekspozycja na działanie temperatur kriogenicznych może wiązać się z występowaniem zmian w ilości i rozmieszczeniu płynów ustrojowych.

Zdecydowanie częściej w piśmiennictwie analizowane jest zachowanie się gospodarki płynowej w następstwie ekspozycji na działanie ciepła i zmiany objętości osocza towarzyszące rozwojowi adaptacji fenotypowej do ciepła (Armstrong i Maresh, 1991; Périard i wsp., 2015) które standardowo wskazują się na zwiększenie objętości osocza po HA. Tylko w nielicznych badaniach wykazywano, że powtarzane zabiegi w saunie lub termoterapia wiążą się z poprawą mechanizmów neurohumoralnych uczestniczących w regulacji wolemii. Tymczasem zburzenia wolemii obserwowano w przypadku narażenia na działanie ciepła (Sawka i wsp., 2015), zimna (Young i wsp., 1987) co może wpływać na możliwości wykonywania pracy fizycznej (Kimball i wsp., 2022). Zwiększenie objętości osocza (PV) jako element zmian towarzyszących adaptacji do ciepła wiąże się z poprawą termoregulacji i stabilności układu sercowo-naczyniowego i następuje w wyniku zwiększonej retencji płynów (Garrett i wsp., 2012, 2014; Lorenzo i wsp., 2010; Nielsen i wsp., 1993; Patterson i wsp., 2004; Senay i wsp., 1976). i jest konsekwencją często występującego w tym procesie narażenia organizmu na wzrost osmolalności krwi w wyniku utraty wody przez pocenie się, co stymuluje wyrzut hormonów regulujących gospodarkę płynami – aldosteronu i wazopresyny (Garrett i wsp., 2014; Kenefick i wsp., 2007; Sawka i wsp., 2011). Hormony te pomagają w utrzymaniu, a następnie zwiększeniu retencji płynów. Aldosteron pomaga w utrzymaniu stężenia chlorku sodu, co zwiększa retencję płynów w przestrzeni pozakomórkowej. W jednym z ostatnich badań wykazano, że długotrwała aklimatyzacja HA (wysiłkowo-cieplna) zwiększa objętość krwi poprzez zwiększenie zarówno objętości osocza, jak i erytrocytów (Oberholzer i wsp., 2019). W zależności od tego, czy zwiększenie objętości krwi jest wywołane przez zwiększenie objętości osocza czy erytrocytów, wpływ na zmniejszenie skutków następczej hipowolemii będzie prawdopodobnie różny. W badaniach Pokora i wsp. (2021) odnotowano istotny wzrost objętości osocza jak i objętości erytrocytów (~3fl) po średnio-czasowej biernej adaptacji do ciepła. W obecnych badaniach

notowano zwiększenie objętości osocza (tabela 4) oraz objętości erytrocytów (MCV) po serii zabiegów cieplnych o +3.45% jednak niewielkie po serii zabiegów WBC o +1,6%, co wskazuje, że obie interwencje termiczne istotnie modulują zasoby wody poza – oraz wewnątrzkomórkowej co może wpływać na dostępność wody dla procesów termoregulacji i układu krążenia podczas wysiłku.

Jednym z mechanizmów uczestniczących w regulacji objętości osocza jest mechanizm: aldosteron- wazopresyna (*Montain i wsp., 1997 Patterson i wsp., 2004 Sawka i wsp., 2011 Schleh i wsp., 2018*). Aldosteron jest odpowiedzialny za zatrzymywanie sodu w kanalikach nerkowych, co z kolei utrzymuje objętość krwi, zatrzymując wodę przez przyciąganie polarne. To z kolei powoduje zatrzymanie wody i jonów sodowych w przedziale pozakomórkowym krwi, i prowadzi do zwiększenia objętości osocza PV (*Patterson i wsp., 2004*). Oprócz aldosteronu w mechanizmie zaangażowanym w zwiększeniu PV, w odpowiedzi na aklimatyzację wskazywano na udział w tym procesie zwiększonego ciśnienia onkotycznego w przestrzeni wewnątrznacyniowej (*Senay i wsp., 1976*). Wzrost zawartości białek (zwłaszcza albumin) we krwi powoduje przesunięcie wody z przestrzeni śródmiąższowej do wewnątrznacyniowej i sprzyja retencji wody. W obecnym badaniu nie odnotowano istotnego zwiększenie stężenia TP po serii zabiegów WBH w grupie aklimowanej (zbliżone do kontroli zachowanie stężenia TP we krwi), ale zwiększenie objętości osocza i świadczy, że całkowita zawartość białka była również podwyższona.

Stężenie aldosteronu było niższe po serii obu stosowanych zabiegów, ale było wyższe w grupie korzystającej z serii zabiegów WBC. Zmiany stężenia ALD w grupie badanych pozostawały prawdopodobnie w związku z niższym stężeniem jonów sodowych i potasowych we krwi badanych oraz wzrostem objętości osocza krwi. Ponieważ dobry stan nawodnienia hamuje uwalnianie aldosteronu (*Brandenberger i wsp., 1986, 1989; Kenefick i wsp., 2007*) można przypuszczać, że podobnie jak wskazani autorzy, obniżone stężenie Na w osoczu krwi oraz niezmiennione w spoczynku stężenie aldosteronu we krwi było powiązane z poprawą stanu nawodnieni badanych w spoczynku po serii kąpiele w saunie. W badaniach *Leppaluoto i wsp. (1986)* notowano obniżenie stężenia potasu, sodu i żelaza w surowicy po protokole kąpiele w saunie obejmującym odpoczynek przez godzinę, dwa razy dziennie w temperaturze 80°C (*Leppaluoto i wsp., 1986*) jak również zmniejszenie osmolalności osocza, stężenia białka całkowitego w osoczu i bezwzględnych wartości hematokrytu, przy braku istotnych zmian w stężeniu kortyzolu i aldosteronu w osoczu po protokole obejmującym 1-h zanurzenie w ciepłej wodzie (41°C) przez 13 dni (*Bonner i wsp., 1976*). W badaniach *Shido i wsp., (1999)* nie stwierdzono natomiast istotnych zmian w stężeniu sodu, potasu, białka całkowitego i albumin

w osoczu po zastosowaniu ciepła, gdy badani odpoczywali przez 4 godziny w temperaturze 46°C i przy wilgotności względnej 20% (*Shido i wsp., 1999*). Wyniki obecnych badań nie wykazały występowania znamienych różnic w stężeniu jonów sodowych w spoczynku po serii zabiegów WBH w porównaniu do badań kontrolnych, odnotowano jednak istotnie wyższe stężenia jonów sodowych i wyższe niż w grupie korzystającej z zabiegów kąpieli w saunie stężenie aldosteronu w spoczynku. Ponieważ głównym efektem działania aldosteronu jest zatrzymywanie Na i wody w kanalikach dystalnych nefronu w celu utrzymania objętości płynu zewnątrzkomórkowego, a tym samym objętości krwi, wydaje się, że zwiększona retencja Na i wody (Morris, 1981) mogła być wynikiem wyższego w tej grupie badanych stężenia aldosteronu we krwi ($p > 0.05$) i elementem uruchamianego w warunkach korzystania z serii zabiegów kriostymulacji mechanizmu zachowania/ lub zwiększeni objętości osocza.

W literaturze przedmiotu dostępne są nieliczne wyniki badań, w których oceniano zmiany stężenia aldosteronu, gdy w procesie regeneracji wykorzystywano ekspozycję na działanie zimna. *Šrámek i wsp. (2000)* oceniali zmiany stężenia reniny, aldosteronu, kortyzolu, noradrenaliny, adrenaliny i dopaminy we krwi wywołane zanurzeniem w wodzie o temperaturze 14°C, 20°C lub 32°C przez 1 h i obserwowali tendencję do zmniejszania się stężenia kortyzolu zarówno w warunkach 14°C, jak i 20°C oraz do zwiększania się stężenia noradrenaliny i dopaminy tylko w warunkach 14°C. We wszystkich warunkach obserwowali zwiększoną diurezę, która nasilała się wraz z obniżaniem temperatury. Zdaniem *Kimball i wsp. (2022)* aklimatyzacja do zimna nie zmienia objętości osocza, stężenia elektrolitów, ani też nie wpływa na produkcję moczu lub wydalanie elektrolitów podczas ekspozycji na zimne powietrze lub zimną wodę.

Reasumując można stwierdzić, że obie formy zastosowanych w badaniach interwencji cieplnych wywierały wpływ na gospodarkę płynami, choć efektywność ich zależała od natury stosowanego zabiegu termoterapii i zmian towarzyszących działaniu stosownego bodźca termicznego. Stwierdzono, że stosowaniu serii kąpieli w saunie towarzyszy zwiększenie objętości krwi obejmujące zwiększenie objętości osocza oraz zwiększenie objętości erytrocytów, podczas gdy po zastosowaniu serii 10 zabiegów kriostymulacji obserwowano niewielkie zmiany tych objętości. Można przypuszczać, że różnice w zmianach objętości wody w przedziałach wodnych organizmu po stosowaniu interwencji ciepła czy zimna mogą w pewnym stopniu decydować o skuteczności ograniczania skutków hipowolemii podczas wysiłku i decydować o efektywności rehydratacji po wysiłku.

7. WNIOSKI

1. Seria zabiegów kriostymulacji i kąpeli w saunie prowadzi do rozwoju zmian przystosowawczych w organizmie, które ujawniły się w spoczynku. Po serii zabiegów ciepłych (kąpeli w saunie) odnotowano zwiększenie objętości osocza krwi, obniżenie skurczowego ciśnienia tętniczego krwi i tętna, jednak zmianom tym nie towarzyszyły istotne zmiany, temperatury wewnętrznej, skóry i ciała. Po serii 10 kriostymulacji całego ciała (WBC) nie stwierdzono znamienych zmian w cechach funkcjonalnych układu krążenia takich jak: tętno, ciśnienie tętnicze krwi, zmian w temperaturach ciała w porównaniu do kontroli, ale odnotowano zmiany w zachowaniu się wskaźników metabolicznych.
2. Seria powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna wpływa na reakcje fizjologiczne podczas wysiłku fizycznego. Przejawiają się one w postaci tendencji do większej redukcji masy ciała w grupie korzystającej z serii 10 kąpeli w saunie. Nie wykazano jednak istotnych różnic w medianach przyrostów objętości osocza i zmianach średniej masy ciała w odpowiedzi na wysiłek fizyczny o stałym submaksymalnym obciążeniu przed i po zastosowaniu odmiennych interwencji ciepłych.
3. Cechy odpowiedzi systemowych na wysiłek fizyczny po zastosowaniu odmiennych interwencji ciepłych wskazują, że oba bodźce silnie oddziałują na zachowanie się temperatury ciała, temperatury skóry: lokalne i średnie, funkcje układu krążenia, podczas wysiłku o zbliżonym obciążeniu względnym. Cechy reakcji układu krążenia i termoregulacji w odpowiedziach na wysiłek fizyczny uwidaczniają występowanie różnic w odpowiedziach systemowych po odmiennych interwencjach ciepłych, które nie skutkowały istotnymi różnicami w bezwzględnych zmianach objętości osocza i masy ciała.
4. Po żadnej z zastosowanych interwencji ciepłych nie odnotowano istotnej różnicy w czasie wykonywania wysiłku testowego w porównaniu do badania kontrolnego. Ani zastosowanie serii 10 kąpeli w saunie ani serii 10 kriostymulacji całego ciała nie poprawiło znamiennej wytrzymałości czasowej elitarnych narciarzy biegowych w teście biegowym.

5. Obie formy interwencji cieplnych zastosowane w badaniach przyczyniły się do poprawy procesu regeneracji po wysiłku, choć efektywność ich zależała od natury stosowanego zabiegu termoterapii i zmian towarzyszących działaniu stosownego bodźca termicznego. Można przypuszczać, że różnice w wielkości zmian osiągniętych po stosowaniu interwencji ciepła czy zimna w ocenianych wskaźnikach metabolicznych w okresie restytucji mogły decydować o efektywności danego typu termoterapii we wspomaganiu regeneracji po wysiłku.
6. W ogólnym porównaniu przejawów oddziaływania serii zabiegów kriostymulacji i serii kąpieli w saunie na zachowanie się parametrów systemowych, metabolicznych czy hormonalnych w odpowiedzi na zastosowany test wysiłkowy i po jego zakończeniu dostrzega się silniejsze oddziaływanie serii WBH na zachowanie się cech funkcjonowania układu krążenia i cechy temperaturowe ciała podczas testu wysiłkowego, podczas gdy stosowania serii kriostymulacji na parametry metaboliczne rejestrowane w okresie restytucji po wysiłku.

8. PIŚMIENICTWO

1. Akerman A.P., Tipton M., Minson C.T., Cotter J.D., 2016. Heat stress and dehydration in adapting for performance: Good, bad, both, or neither? *Temperature* 3, 412-436. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1216255>.
2. Allen D.G., Lamb G.D., Westerblad H. 2008. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88, 287-332.
3. Allen D.E., Gellai M. 1993. Mechanisms for the diuresis of acute cold exposure: role for vasopressin? *American Journal of Physiology* 264 (3Pt2) 524-32. doi: 10.1152/ajpregu.
4. Amano T., Inoue Y., Koga S., Nishiyasu T., Kondo N. 2015. Influence of exercise training with thigh compression on heat-loss responses. *Scandinavian Journal Medicine and Science in Sports*. 25/1:173-82. doi: 10.1111/sms.12365.
5. Armstrong L.E., Maresh C.M. 1991. The induction and decay of heat acclimatisation in trained athletes. *Sports Medicine* 12(5):302-12. doi: 10.2165/00007256-199112050-00003.
6. Armstrong R.B., Ogilvie R.W., Schwane J.A. 1983. Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *Journal Applied Physiology Respiratory Environment and Exercise Physiology* 54(1):80-93. doi: 10.1152/jappl.1983.54.1.80.
7. Bailey D.M., Erith S.J., Griffin P.J., Dowson A., Brewer D.S., Gant N., Williams C. 2007. Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running. *Journal of Sports Science* 25(11), 1163-1170. <https://doi.org/10.1080/02640410600982659>.
8. Banfi G., Lundby C., Robach P., Lippi G. 2011. Seasonal variations of haematological parameters in athletes. *European Journal of Applied Physiology* (111)1, 9-16.
9. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Melegati G. 2010. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med.* 40, 509-517. doi: 10.2165/11531940-000000000-00000.
10. Banfi G., Melegati G., Barassi A., Dogliotti G., Melzi d'Eril G., Dugué B., et al. 2009. Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *J. Thermal Biol.* 34, 55-59. doi: 10.1016/j.jtherbio.2008.10.003.

11. Bass D.E., Henschel A. 1956. Responses of Body Fluid Compartments to Heat and Cold. *Physiol. Rev.* 36, 128-144.
12. Bonner R.M., Harrison M.H., Hall C.J., Edwards R.J. 1976. Effect of heat acclimatization on intravascular responses to acute heat stress in man. *Journal Applied of Physiolog.* 41(5 Pt. 1):708-13. doi: 10.1152/jappl.1976.41.5.708.
13. Bongers C.C., Hopman M.T.E., Eijsvogels T.M.H. 2017. Cooling interventions for athletes: An overview of effectiveness, physiological mechanisms, and practical considerations. *Temperature* 4(1), 60-78. <https://doi.org/10.1080/23328940.2016.1277003>.
14. Bouzigon R., Dupuy O., Tiemessen I., De Nardi M., Bernard J.P., Mihailovic T., Theurot D., Miller E.D., Lombardi G., Dugué B.M. 2021. Cryostimulation for Post-exercise Recovery in Athletes: A Consensus and Position Paper. *Frontiers in Sports and Active Living* 3(November), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.688828>.
15. Bouzigon R., Grappe F., Ravier G., Dugué B. 2016. Whole – and partial – body cryostimulation/cryotherapy: current technologies and practical applications. *J. Thermal Biol.* 61, 67-81.
16. Brancaccio P., Maffulli N., Limongelli F.M. 2007. Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin* 81-82, 209-230. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldm014>.
17. Brandenberger G., Candas V., Follenius M., Libert J.P., Kahn J.M. 1986. Vascular fluid shifts and endocrine responses to exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol* 55, 123-129.
18. Brazaitis M., Eimantas N., Daniuseviciute L., Mickeviciene D., Steponaviciute R., Skurvydas A. 2014. Two strategies for response to 14°C cold-water immersion: Is there a difference in the response of motor, cognitive, immune and stress markers? *PLoS ONE* 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109020>.
19. Brenner I.K.M., Zamecnik J., Shek P.N., Shepard R.J. 1997 The Impact of heat exposure and repeated exercise on circulating stress hormones. *Eur J Appl Physiol* 76, 445–454. <https://doi.org/10.1007/s004210050274>.
20. Broman M., Källskog O., Nygren K., Wolgast M. 1998. The role of antidiuretic hormone in cold-induced diuresis in the anaesthetized rat. *Acta Physiologica Scandinavica* (162)4, 475-480.
21. Broatch J.R., Poignard M., Hausswirth C., Bishop D.J., Bieuzen F., 2019. Whole-body cryotherapy does not augment adaptations to high-intensity interval training. *Scientific Reports* 9, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48518-1>.

22. Bruton J.D., Aydin J., Yamada T., Shabalina I.G., Ivarsson N., Zhang S.J., Wada M., Tavi P., Nedergaard J., Katz A., Westerblad H.. 2010. Increased fatigue resistance linked to Ca²⁺-stimulated mitochondrial biogenesis in muscle fibres of cold-acclimated mice. *The Journal of Physiology* 1;588(Pt21):4275-88. doi: 10.1113/jphysiol.2010.198598. PMID: 20837639; PMCID: PMC3002456.
23. Burton A. 1935. Human calorimetry, the average temperature of the tissue of the body. *Journal Nutrition*. 8: 261-280
24. Casa D.J., Lawrence A.E., Susan H.K., Scott M.J., Ralph R.V, Brent R.S.E., William R.O., Jennifer S.A., 2000. National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training* 35, 212-224.
25. Castellani J.W., Young A.J., 2016. Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Autonomic Neuroscience: Basic and Clinical* 196, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.009>.
26. Chaillou T., Treigyte V., Mosely S., Brazaitis M., Venckunas, T., Cheng A.J., 2022. Functional Impact of Post-exercise Cooling and Heating on Recovery and Training Adaptations: Application to Resistance, Endurance, and Sprint Exercise. *Sports Medicine – Open* 8. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00428-9>.
27. Charkoudian N. 2003. Skin blood flow in adult human thermoregulation: how it works, when it does not, and why. *Mayo Clinic Proc.* 78, 603-612. doi: 10.4065/78.5.603.
28. Chen M.M., Holmes K.R.1980. Microvascular contributions in tissue heat transfer. *Annals of the New York Academy of Sciences* 335:137-50. doi: 10.1111/j.1749-6632.1980.tb50742.x.
29. Chen T.I, Tsai P.H., Lin J.H., Lee N.Y., Liang M.T. 2013. Effect of short-term heat acclimation on endurance time and skin blood flow in trained athletes. *Open Access Journal of Sports Medicine* 18;4:161-70. doi: 10.2147/OAJSM.S45024.
30. Cheng A.J., Place N., Westerblad H. 2018. Molecular basis for exercise-induced fatigue: the importance of strictly controlled cellular Ca(2+) handling. *Cold Spring Harb Perspect Med.* 8(2), a29710.
31. Cheung S.S., McLellan T.M. 1998. Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology* (84)5, 1731-1739.
32. Cheung S.S., Daanen H.A. 2012. Dynamic adaptation of the peripheral circulation to cold exposure. *Microcirculation* 19(1):65-77.

33. Costa R.J.S., Crockford M.J., Moore J.P., Walsh N.P. 2014. Heat Acclimation Responses of an Ultra-Endurance Running Group Preparing for Hot Desert-Based Competition. *European Journal of Sport Science* 14 (SUPPL.1): 37-41. <https://doi.org/10.1080/17461391.2012.660506>.
34. Costello J.T., Baker P.R., Minett G.M., Bieuzen F., Stewart I.B., Bleakley C. 2015. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle sore – ness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst Rev* CD010789; <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD010789.pub2>.
35. Costello J.T., Rendell R.A., Furber M., Massey H.C., Tipton M.J., Young J.S., Corbett J. 2018. Effects of acute or chronic heat exposure, exercise and dehydration on plasma cortisol, IL-6 and CRP levels in trained males. *Cytokine*.110:277-283. doi: 10.1016/j.cyto.2018.01.018.
36. Davis G.R., Bellar D., Scott D., Lavergne M. 2019. Effects of core temperature, skin temperature, and inter-beat interval on resting metabolic rate measurements in thermoneutral conditions. *Journal of Thermal Biology* 85. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102399>
37. Duvnjak-Zaknich D.M., Wallman K.E., Dawson B.T., Peeling P. 2018. Continuous and intermittent heat acclimation and decay in team sport athletes. *Eur. J. Sport Sci.* 19, 1-10. doi: 10.1080/17461391.2018.1512653.
38. Fonda B, Sarabon N. 2013. Effects of whole-body cryotherapy on recovery after hamstring damaging exercise: a crossover study. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 23(5):270-8. doi: 10.1111/sms.12074.
39. Freund B.J.; Young A.J. 1996. Environmental Influences on Body Fluid Balance during Exercise: *Cold Exposure*. In: *Body Fluid Balance: Exercise and Sport*. Eds. Buskirk E.R., Puhl S.M. CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 159-181.
40. Fricke R., 1989. Ganzkörperkältetherapie in einer kältekammer mit Temperaturen um -110C. *Z. Phys. Med. Baln. Med. Klim.* 18, 1-10.
41. Ganta C.K., Helwig B.G., Blecha F., Ganta R.R., Cober R., Parimi S., Musch T.I., Fels R.J., Kenney M.J. 2006 Hypothermia-enhanced splenic cytokine gene expression is independent of the sympathetic nervous system. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 291(3):558-65. doi: 10.1152/ajpregu.00846.2005. PMID: 16469832.
42. Garrett A.T. 2011. Induction of heat acclimation in moderately and highly trained athletes. *Sports Med* 41, 757-771.

43. Garrett A.T., Creasy R., Rehrer N.J., Patterson M.J., Cotter J.D. 2012. Effectiveness of short-term heat acclimation for highly trained athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 112(5), 1827-1837. <https://doi.org/10.1007/s0421-011-2153-3>.
44. Garrett A.T., Goosens N.G., Rehrer N.J., Patterson M.J., Harrison J., Sammut I., Cotter J.D. 2014. Short-term heat acclimation is effective and may be enhanced rather than impaired by dehydration. *American Journal of Human Biology* 26, 311-320. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22509>.
45. Guilhem G., Hug F., Couturier A., Regnault S., Bournat L., Filliard J.R., Dorel S. 2013. Effects of air-pulsed cryotherapy on neuromuscular recovery subsequent to exercise-induced muscle damage. *American Journal of Sports Medicine* 41(8):1942-51. doi: 10.1177/0363546513490648.
46. Guy J.H., Deakin G.B., Edwards A.M., Miller C.M., Pyne D.B. 2015. Adaptation to Hot Environmental Conditions: An Exploration of the Performance Basis, Procedures and Future Directions to Optimise Opportunities for Elite Athletes. *Sports Medicine* 45 (3), 303-11. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0277-4>.
47. Hafen P.S., Preece C.N., Sorensen J.R., Hancock C.R., Hyldahl R.D. 2018. Repeated exposure to heat stress induces mitochondrial adaptation in human skeletal muscle. *Journal Applied of Physiology*. 125(5):1447-1455 doi:10.1152/jappphysiol.00383.2018.
48. Hagner W, Smolka A, Róžańska J. 2009. Influence of whole-body cryotherapy of results of exercise test. *Balneologia Polska* 115, 1, 35-39.
49. Halvorson G.A. 1990. Therapeutic Heat and Cold for Athletic Injuries. *Physicial and Sports Medicine* 18(5), 87-94. <https://doi.org/10.1080/00913847.1990.11710045>.
50. Harrison M.H. 1976. Intravascular volume and electrolyte changes with acclimatization to heat in man. *The Journal Physiology* 258(1):30-31.
51. Harrison M.H., Edwards R.J., Graveney M.J., Cochrane L.A., Davies J.A. 1981. Blood Volume and Plasma Protein Responses to Heat Acclimatization in Humans. *Journal of Applied Physiology Respiratory Environmental and Exercise Physiology* 50 (3): 597-604. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.50.3.597>.
52. Hassan E.S. 2011. Thermal therapy and delayed onset muscle soreness. *The Journal Sports of Medicine and Physical Fitness* 51(2):249-54.
53. Hausswirth C., Le Meur Y. 2011a. Physiological and Nutritional Aspects of Post-Exercise Recovery. *Sports Medicine* 41, 861-882. <https://doi.org/10.2165/11593180-000000000-00000>.

54. Hausswirth C., Louis J., Bieuzen F., Pournot H., Fournier J., Filliard J.R., Brisswalter J. 2011b. Effects of Whole-Body Cryotherapy vs. Far-Infrared vs. Passive Modalities on Recovery from Exercise-Induced Muscle Damage in Highly-Trained Runners. *PLoS ONE* 6 (12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027749>.
55. Hausswirth C. et al. 2013. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *PloS one* 8, 72658, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072658>..
56. Heinonen, I., Laukkanen, J.A. (2018). Effects of heat and cold on health, with special reference to Finnish sauna bathing. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 314, 629–638. doi: 10.1152/ajpregu.00115.2017.
57. Horowitz M. 2003. Matching the heart to heat-induced circulatory load: heat-acclimatory responses. *New Physiol. Sci.* 18, 215-221.
58. Horowitz M., Robinson S.D. 2007. Heat shock proteins and the heat shock response during hyperthermie and its modulation by altered physiological conditions. *Progress Brain Res.* 162, 433-446.
59. Horowitz M., Shimoni Y., Parnes S., Gotsman M.S., Hasin Y. 1986. Heat acclimation: cardiac performance of isolated rat heart. *Journal of Applied Physiology* (60), 9-13.
60. Huttunen P., Rintamaki H., Hirvonen J..2001. Effect of regular winter swimming on the activity of the sympathoadrenal system before and after a single cold water immersion. *Int J Circumpolar Health* 60 (3): 400.
61. Hyldahl R.D., Peake J.M. 2020. Combining Cooling or Heating Applications with Exercise Training to Enhance Performance and Muscle Adaptations. *Journal of Applied Physiology* 129 (2), 353-65. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00322.2020>.
62. Ihsan M., Watson G., Choo H.C., Govus A., Cocking S., Stanley J., Abbiss C.R., 2020. Skeletal muscle microvascular adaptations following regular cold water immersion. *Int. J. Sports Med.* 41 (2), 98-105.
63. Ihsan, M., Watson, G., Abbiss, C.R. 2016. What are the Physiological Mechanisms for Post-Exercise Cold Water Immersion in the Recovery from Prolonged Endurance and Intermittent Exercise? *Sports Medicine* 46, 1095-1109. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0483-3>

64. Janský L., Šrámek P., Šavlíková J., Uličný B., Janáková H., Horký K. 1996. Change in sympathetic activity, cardiovascular functions and plasma hormone concentrations due to cold water immersion in men. *Eur J Appl Physiol.* 74 (1-2), 148-152.
65. Jonak A., Skrzek A. 2009. Krioterapia w odnowie biologicznej sportowców – przegląd badań. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 15, 319-321.
66. Karlsen A., Racinais S., Jensen M.V., Nørgaard S.J., Bonne T., Nybo L. 2015. Heat acclimatization does not improve VO₂max or cycling performance in a cool climate in trained cyclists. *Scandinavian Journal Medicine of Science and Sports* (25)1, 269-276.
67. Kellogg D.L. 2006 In vivo mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans during thermoregulatory challenges. *Journal of Applied Physiology* 100, 17009 – 1718. doi:10.1152/jappphysiol.01071.2005.
68. Kenefick R.W., Maresh C.M., Armstrong L.E., Riebe D., Echegaray M.E., Castellani J.W. 2007a. Rehydration with fluid of varying tonicities: effects on fluid regulatory hormones and exercise performance in the heat. *J Appl Physiol* 102, 1899-1905.
69. Kenefick R.W., Mahood N.V., Hazzard M.P., Quinn T.J., Castellani J.W. 2004. Hypohydration effects on thermoregulation during moderate exercise in the cold. *European Journal of Applied Physiology* 92, 565-570. <https://doi.org/10.1007/s00421-004-1079-4>.
70. Kenefick RW., Chevront S.N., Sawka M.N. 2007b. Thermoregulatory function during the marathon, *Sports Med.* 37, 312-315.
71. Kenney M.J, Musch T.I. 2004. Senescence alters blood flow responses to acute heat stress. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology* 286(4):H1480-5. doi: 10.1152/ajpheart.00857.2003.
72. Kępińska-Szyszkowska M., Szarek M., Dabrowski Z., Szyguła Z. 2022. Whole-body cryostimulation does not disturb the homeostasis of the system in physically active men – Pilot study, *Cryobiology*, <https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2022.03.008>.
73. Kim K., Kuang S., Song Q., Gavin T., Roseguini B. 2019. Impact of heat therapy on recovery following eccentric exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 126 (4), 965-976.
74. Kimball J.P., Inan O.T., Convertino V.A., Cardin S., Sawka M.N. 2022. Wearable Sensors and Machine Learning for Hypovolemia Problems in Occupational, Military and Sports Medicine: Physiological Basis, Hardware and Algorithms. *Sensors* 22. <https://doi.org/10.3390/s22020442>.

75. Kirby C.R., Convertino V.A. 1986. Plasma aldosterone and sweat sodium concentrations after exercise and heat acclimation. *J Appl Physiol* 61(3):967–970.
76. Kissling L.S., Akerman A.P., Cotter J.D. 2019. Heat-induced hypervolemia: Does the mode of acclimation matter and what are the implications for performance at Tokyo 2020? *Temperature* 00, 1-20. <https://doi.org/10.1080/23328940.2019.1653736>
77. Klimek A., Lubkowska A., Szyguła Z., Chudecka M., Frączek B. 2010. Influence of the ten sessions of the whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 23, 181-189. <https://doi.org/10.2478/v10001-010-0019-2>.
78. Klimek A.T., Lubkowska A., Szyguła Z., Frączek B., Chudecka M. 2011. The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 24, 184-191. <https://doi.org/10.2478/s13382-011-0017-z>
79. Komulainen S., Oja T., Rintamaki H., Virokannas H., Keinanen-Kiukaanniemi S. 2004. Blood pressure and thermal responses to whole body cold exposure in mildly hypertensive subjects. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8), 851-856.
80. Koutedakis Y., Raafat A., Sharp N.C., Rosmarin M.N., Beard M.J., Robbins S.W. 1993. Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness* 33(3):252-257.
81. Krasicki S., Błecharz J., Klimek A., Kowalczyk J., Rosiński J., Ruchlewicz T., Sadowski G., Tajner A., Zdebski J. 2010. *Narciarstwo biegowe*. Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie. Polski Związek Narciarski. Studia i Monografie nr 63, 35.
82. Kukkonen-Harjula K., Kauppinen K. 1988 How the sauna affects the endocrine system. *Ann Clin Res*. 20(4):262-6.
83. Kwiecień S.Y., McHugh M.P., Howatson G. 2020. Don't Lose Your Cool With Cryotherapy: The Application of Phase Change Material for Prolonged Cooling in Athletic Recovery and Beyond. *Frontiers in Sports and Active Living* 2, 1-12. [doi:10.3389/fspor.2020.00118](https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00118).
84. Laukkanen J.A., Laukkanen T., Kunutsor S.K. 2018. Cardiovascular and Other Health Benefits of Sauna Bathing: A Review of the Evidence. *Mayo Clinic Proceedings* 93, 1111-1121. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.04.008>.

85. Leo P., Spragg J., Podlogar T., Lawley J.S., Mujika I. 2022. Power Profiling and the Power-Duration Relationship in Cycling: A Narrative Review. *European Journal of Applied Physiology* 122 (2), 301-316. <https://doi.org/10.1007/s00421-021-04833-y>.
86. Leppäluoto J., Westerlund T., Huttunen P., Oksa J., Smolander J., Dugué B. 2008. Effects of long-term whole-body cold exposures on plasma concentrations of ACTH, beta-endorphin, cortisol, catecholamines and cytokines in healthy females. *Scand J Clin Lab Invest.* 68 (2), 145-153.
87. Leppäluoto J., Huttunen P., Hirvonen J., Väänänen A., Tuominen M., Vuori J. 1986. Endocrine effects of repeated sauna bathing. *Acta Physiologica Scandinavica* 128, 467-470. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1986.tb08000.x>.
88. Lombardi G., Ziemann E., Banfi G. 2017. Whole-body cryotherapy in athletes: from therapy to stimulation. An update review of the literature. *Frontiers in Physiology*, (8), 258.
89. Lorenzo S., Halliwill J.R., Sawka M.N., Minson C.T. 2010. Heat acclimation improves exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 109, 1140-1147. doi: 10.1152/jappphysiol.00495.2010.
90. Losnegard T. 2019. Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology* 119(8), 1675-1690. doi:10.1007/s00421-019-04158-x
91. Lubkowska A., Banfi G., Dołęgowska B., d'Eril G.V.M., Łuczak J., Barassi A. 2010. Changes in lipid profile in response to three different protocols of whole – body cryostimulation treatments. *Cryobiology* (61), 22-26.
92. Lubkowska A., Chudecka M., Klimek A., Szyguła Z., Fraczek B. 2008. Acute effect of a single whole-body cryostimulation on prooxidant-antioxidant balance in blood of healthy, young men. *Journal of Thermal Biolog.* (33). 464-467.
93. Lubkowska A., Dolegowska B., Szyguła Z., Klimek A. 2009. Activity of selected enzymes in erythrocytes and level of plasma antioxidants in response to single whole-body cryostimulation in humans. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation* 69 (3) 387-94. doi:10.1080/00365510802699246
94. Lubkowska A., Suska M. 2011. The increase in systolic and diastolic blood pressure after exposure to cryogenic temperatures in normotensive men as a contraindication for whole-body cryostimulation. *Journal of Thermal Biology*, 36(5), 264-268.

95. Lubkowska A., Szyguła Z. 2010. Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 23(4), 367-375, ISSN: 1896-494X.
96. Lubkowska A. 2012. Cryotherapy: Physiological Considerations and Applications to Physical Therapy. *Physical Therapy Perspectives in the 21st Century – Challenges and Possibilities*. <https://doi.org/10.5772/35055>.
97. Morton J.P., Kayani A.C., McArdle A., Drust B. 2009. The exercise-induced stress response of skeletal muscle, with specific emphasis on humans. *Sports Medicine* 39(8):643-62. doi: 10.2165/00007256-200939080-00003.
98. Miller E., Mrowicka M., Malinowska K., Żołyński K., Kędziora J., 2010. Effects of the whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of some antioxidative enzymes in blood of patients with multiple sclerosis preliminary study. *The Journal of Medical Investigation* Vol. 57 168-173.
99. Minett G.M., Duffield R. 2014. Is recovery driven by central or peripheral factors? A role for the brain in recovery following intermittent-sprint exercise. *Frontiers in Physiology* 5 Feb(February). <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00024>.
100. Montain S.J., Coyle E.F. 1992. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift. *Journal of Applied Physiology* (73)4, 1340-1350.
101. Montain S.J, Laird J.E., Latzka W.A., Sawka M.N..1997. Aldosterone and vasopressin responses in the heat: hydration level and exercise intensity effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 29(5):661-8. doi: 10.1097/00005768-199705000-00012.
102. Morgan M.L., Anderson R.J., Ellis M.A., Berl T. 1983. Mechanism of cold diuresis in the rat. *American Journal Physiology* (244) 2, 210-216.
103. Morris D.J. 1981. The metabolism and mechanism of action of aldosterone. *Endocr Rev* 2, 234-247.
104. Moss J.N., Bayne F.M., Castelli F., Naughton M.R., Reeve T.C., Trangmar S.J., Mackenzie R.W.A., Tyler C.J. 2020. Short-term isothermic heat acclimation elicits beneficial adaptations but medium-term elicits a more complete adaptation. *European Journal of Applied Physiology* 120, 243-254. <https://doi.org/10.1007/s00421-019-04269-5>.

105. Neal R.A., Corbett J., Massey H.C, Tipton M.J. 2015. Effect of short-term heat acclimation with permissive dehydration on thermoregulation and temperate exercise performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* (26)8, 875-84.
106. Nielsen B., Strange S., Christensen N.J., Warberg J., Saltin B. 1997. Acute and adaptive responses in humans to exercise in a warm, humid environment. *Pflugers Arch: European Journal of Physiology* 434(1):49-56. doi: 10.1007/s004240050361.
107. Nielsen B., Hales J.R., Strange S., Christensen N.J., Warberg J., Saltin B. 1993. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *Journal Physiology* (460), 467-485.
108. Niess A.M., Fehrenbach E., Lehmann R., Opavsky L., Jesse M., Northoff H., Dickhuth H.H. 2003. Impact of elevated ambient temperatures on the acute immune response to intensive endurance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 89(3-4):344-51. doi: 10.1007/s00421-003-0809-3. Epub 2003 Mar 25. PMID: 12736844.
109. Noakes T.D. 1987. Effect of exercise on serum enzyme activities in humans. *Sports Medicine* 4(4):245-67. doi: 10.2165/00007256-198704040-00003. PMID: 3306866.
110. Nosaka K., Muthalib M., Lavender A., Laursen P.B. 2007. Attenuation of muscle damage by preconditioning with muscle hyperthermia. *Eur. J. Appl. Physiol.* 99, 183-192.
111. O'Brien C., Freund B.J., Sawka M.N., McKay J., Hesslink R.L., Jones T.E. 1996. Hydration assessment during cold-weather military field training exercises. *Arctic Med Res* 55, 20-26.
112. Oberholzer L., Siebenmann C., Mikkelsen C.J., Junge N., Piil J.F., Morris N.B., Goetze J.P., Lundby A.K.M., Nybo L., Lundby C. 2019. Hematological Adaptations to Prolonged Heat Acclimation in Endurance-Trained Males. *Front. Physiol.* 10, 1379.
113. Patterson M.J., Stocks J.M., Taylor N.A.S. 2004. Sustained and generalized extracellular fluid expansion following heat acclimation. *Journal of Physiology* 559, 327-334. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.063289>
114. Periard J.D., Racinais S., Sawka M.N. 2015. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 25(S1), 20-38.
115. Periard J.D., Travers G.J.S., Racinais S., et al. 2016. Cardiovascular adaptations supporting human exercise-heat acclimation. *Autonomic Neuroscience*, (196), 52-62.
116. Périard J.D., Racinais S., Sawka M.N. 2015. Adaptations and Mechanisms of Human Heat Acclimation: Applications for Competitive Athletes and Sports. *Scandinavian*

- Journal of Medicine and Science in Sports* 25 (S1), 20-38. <https://doi.org/10.1111/sms.12408>.
117. Pilch W., Pokora I., Szyguła Z. et al. 2013. Effect of a Single Finnish Sauna Session on White Blood Cell Profile and Cortisol Levels in Athletes and Non-Athletes. *Journal of Human Kinetics* 39(1), 127-135. doi:10.2478/hukin-2013-0075.
118. Pilch W., Szyguła Z., Palka T., Pilch P., Cison T., Wiecha S., Tota Ł. 2014. Comparison of physiological reactions and physiological strain in healthy men under heat stress in dry and steam heat saunas. *Biology of Sport*, (31), 145-149.
119. Pilch W. 2022. *Effects of elevated body temperature on selected physiological indices and thermal stress in athletes and non – athletes*. February. <https://doi.org/10.2478/hukin-2021-0131>.
120. Pilch W., Piotrowska A., Czerwinska-Ledwig O., Zuziak R., Maciejczyk M., Tota L., Bawelski M., Palka T. 2019. Zmiany wybranych wskaźników fizjologicznych oraz ocena stresu cieplnego pod wpływem kąpieli w saunie suchej i mokrej u młodych zdrowych kobiet. *Medycyna Pracy* 70, 701-710.
121. Pokora I., Poprzęcki S. 2009. Changes of plasma aldosterone concentration during rehydration after heat stress: An influence of kind ingested drink. *Żywność Nauka Technologia Jakość* 16(4).
122. Pokora I. 2009. Wpływ krótkotrwałej aklimacji cieplnej na reakcje organizmu na wysiłek ekscentryczny i koncentryczny u mężczyzn. AWF Katowice.
123. Pokora I., Żebrowska A. 2016. Application of A Physiological Strain Index in Evaluating Responses to Exercise Stress – A Comparison Between Endurance and High Intensity Intermittent Trained Athletes. *Journal of Human Kinetics* 50, 103-114 DOI: 10.1515/hukin-2015-0142.
124. Pokora, I., Drzazga, Z., i wsp. 2021. *Porównanie temperatur ciała i zmiennych hemodynamicznych w odpowiedzi na jednogodzinne ćwiczenie o zbliżonym względnym obciążeniu pracą u mężczyzn i kobiet trenujących narciarstwo biegowe*. 16-30.
125. Pokora I., Kempa K., Chrapusta S., Langfort J. 2014. Effects of downhill and uphill exercises of equivalent submaximal intensities on selected blood cytokine levels and blood creatine kinase activity. *Biology of Sport* 31(3), 173-178. <https://doi.org/10.5604/20831862.1111434>.
126. Pokora I., Sadowska-Krępa E., Wolowski Ł., Wyderka P., Drzazga Z. 2021 The Effect of Medium-Term Sauna-Based Heat Acclimation (MPHA) on Thermophysiological and Plasma Volume Responses to Exercise Performed under Temperate Conditions in

- Elite Cross-Country Skiers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(13):6906. DOI:10.3390/ijerph18136906
127. Racinais S., Periard J.D., Karlsen A., Nybo L. 2015. Effect of heat and heat acclimatization on cycling time-trial performance and pacing. *Medicine Science Sports and Exercise* (47)3, 601-606.
128. Racinais S., Alonso J.M., Coutts A.J., Flouris A.D., Girard O., González-Alonso J., Hausswirth C., Jay O., Lee J.K.W., Mitchell N., Nassis G.P., Nybo L., Pluim B.M., Roelands B., Sawka M.N., Wingo J., Périard J.D. 2015. Consensus recommendations on training and competing in the heat. *British Journal of Sports Medicine* 49, 1164-1173. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094915>.
129. Rahimi G.R.M., Albanaqi A.L., Van der Touw T., Smart N.A. 2019. Physiological responses to heat acclimation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Sports Science and Medicine* 18(2), 316-326.
130. Regan J.M., Macfarlane D.J., Taylor N.A.S. 1996. An evaluation of the role of skin temperature during heat adaptation. *Acta Physiologica Scandinavica* (158)4, 365-375.
131. Robinson T.A., Hawley J.A., Palmer G.S. et al. 1995. Water ingestion does not improve 1-h cycling performance in moderate ambient temperatures. *Eur J Appl Physiol.* 71, 153-160.
132. Rossato M., Santana T.A., Malezam W.R., Carpes F.P. 2015. Effects of cryotherapy on muscle damage markers and perception of delayed onset muscle soreness after downhill running: A Pilot study. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2014.07.003>.
133. Saat M., Sirisinghe R.G., Singh R., Tochihara Y. 2005. Effects of short-term exercise in the heat on thermoregulation, blood parameters, sweat secretion and sweat composition of tropic-dwelling subjects. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science* 24, 541-549. <https://doi.org/10.2114/jpa.24.541>.
134. Sandbakk Ø. 2017. The evolution of champion cross-country-skier training: From lumberjacks to professional athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 12, 254-259.
135. Sawka M.N., Leon L.R., Montain S.J., Sonna L.A. 2011. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress. *Journal of Comparative Physiology* (1), 1883-1928.
136. Sawka M.N., Toner M.M., Francesconi R.P., Pandolf K.B. 1983. Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender, and environment. *Journal of Applied Physiology* (55), 1147-1153.

137. Sawka M.N., Young A.J., Cadarette B.S., Levine L. 1985. Influence of heat stress and acclimation on maximal aerobic power. *European Journal Applied Physiology Occupational Physiolog*, (53)4, 294-298.
138. Sawka M.N., Coyle E.F. 1999. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exercise of Sport Science*. 27:167-218.
139. Sawka M.N., Chevront S.N., Kenefick R.W. 2015. Hypohydration and Human Performance: Impact of Environment and Physiological Mechanisms. *Sports Med*. 45, S51-S60. (CrossRef).
140. Sawka M.N., Young A.J., Latzka W.A., Neufer P.D., Quigley M.D., Pandolf K.B. 1992. Human Tolerance to Heat Strain During Exercise—Influence of Hydration. *J. Appl. Physiol*. 73, 368-375.
141. Schaal K., Meur Y., Louis J., Filliard J.R., Hellard P., Casazza G., Hausswirth Ch. 2015. Whole-body cryostimulation limits overreaching in elite synchronized swimmers. *Medicine of Science in Sports Exercise* (47), 1416-1425.
142. Schlader Z., Stannard S., Mündel T. 2010. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise – a prospective review. *Physiol. Behav*. 99(3), 269-275.
143. Schleh M.W., Ruby B.C., Dumke C.L. 2018. Short term heat acclimation reduces heat stress, but is not augmented by dehydration. *Journal of Thermal Biology* 78, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.10.004>
144. Scoon G.S.M., Hopkins W.G., Mayhew S., Cotter J.D. 2007. Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners. *Journal of Science and Medicine in Sport* 10, 259-262. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2006.06.009>
145. Senay L.C., Kok R. 1977. Effects of training and heat acclimatization on blood plasma contents of exercising men. *Journal Applied Physiology Respiratory and Environmental and Exercise Physiology*. 43(4):591-9.
146. Senay L.C., Mitchell D., Wyndham C.H. 1976. Acclimatization in a hot, humid environment: body fluid adjustments. *J Appl Physiol*. 40(5):786-796.
147. Schaeffer P.J., Villarin J.J., Lindstedt S.L. 2003. Chronic cold exposure increases skeletal muscle oxidative structure and function in *Monodelphis domestica*, a marsupial lacking brown adipose tissue. *Physiol Biochem Zool*. Nov-Dec;76(6):877-87. doi: 10.1086/378916. PMID: 14988803.

148. Shido O., Sugimoto N., Tanabe M., Sakurada S. 1999. Core temperature and sweating onset in humans acclimated to heat at a fixed daily time. *Am J Physiol* 276, R1095-1101.
149. Šrámek P., Šimečková M., Janský L., Šavlíková J., Vybíral S. 2000. Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *European Journal of Applied Physiology*, 81, 436-442. <https://doi.org/10.1007/s004210050065>.
150. Stanek A., Romuk E., Wielkoszyński T., Bartuś S. 2019. Decreased Lipid Profile and Oxidative Stress in Healthy Subjects Who Underwent Whole-Body Cryotherapy in Closed Cryochamber with Subsequent Kinesiotherapy. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. (Article ID 7524878):10. DOI:.
151. Stanek A., Sieroń A. 2012. Współczesna krioterapia ogólnoustrojowa w odnowie biologicznej Contemporary whole-body cryotherapy in wellness. *Ann. Acad. Med. Siles.* 66, 4, 64-70 Copyright © Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach ISSN 0208-5607.
152. Stanek A., Cieślar G., Sieroń A. 2007. Terapeutyczne zastosowanie krioterapii w praktyce klinicznej. *Balneologia* 01-03, 37-45.
153. Stolwijk J.A, Hardy J.D. 1966. Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients. *Journal Applied of Physiology* 21:967-977. <https://doi.org/10.1152/jappl.1966.21.3.967>
154. Sutkowy P., Augustyńska B., Woźniak A., Rakowski A. 2014. Physical exercise combined with whole-body cryotherapy in evaluating the level of lipid peroxidation products and other oxidant stress indicators in kayakers. *Oxid Med Cell Longev*. 2014:402631. doi: 10.1155/2014/402631.
155. Taghawinejad M., Birwe G., Fricke R., Hartmann R. 1989. Ganzkörperkältetherapie Beeinflussung von kreislauf un Stoffwechselfparametern. *Z. Phys. Med. Baln. Klin.* 18, 23-30.
156. Takamata A., Yoshida T., Nishida N., Morimoto T. 2001. Relationship of osmotic inhibition in thermoregulatory responses and sweat sodium concentration in humans. *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology* (280)3, 623-629.
157. Taylor N.A.S. 2006. Challenges to temperature regulation when working in hot environments. *Industrial Health* (44), 331-344.
158. Taylor N.A., Cotter J.D. 2006. Heat adaptation: guidelines for the optimisation of human performance. *Int SportMed J.* 7(1).

159. Tee J.C., Bosch A.N., Lambert M.I. 2007. Metabolic consequences of exercise-induced muscle damage. *Sports Med* 37, 827-836.
160. Tjønnås J., Seeberg T. M., Rindal O. M. H., Haugnes P., Sandbakk Ø. 2019. Assessment of basic motions and technique identification in classical cross-country skiing. *Front. Psychol.* 10:1260. 10.3389/fpsyg.2019.01260
161. Tyler C.J., Reeve T., Hodges G.J., Cheung S.S. 2016. The Effects of Heat Adaptation on Physiology, Perception and Exercise Performance in the Heat: A Meta-Analysis. *Sports Medicine* 46, 1699-1724. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0538-5>.
162. Undebakke V., Berg J., Tjønnå A.E., Sandbakk O. 2019. Comparison of Physiological and Perceptual Responses to Upper-, Lower-, and Whole-Body Exercise in Elite Cross-Country Skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research* 33(4),1086-1094. doi:10.1519/JSC.0000000000003078.
163. van Beaumont W., Strand J.C., Petrofsky J.S., Hipskind S.G., Greenleaf J.E. 1973. Changes in Total Plasma Content of Electrolytes and Proteins with maximal exercise. *Journal of Applied of Physiology* 34 (1) 102-106. doi: 10.1152/jappl.1973.34.1.102.
164. Vieira A., Oliveira A.B., Costa J.R., Herrera E., Salvini T.F. 2013. Cold modalities with different thermodynamic properties have similar effects on muscular performance and activation. *International Journal of Sports Medicine* 34(10):873-80. doi: 10.1055/s-0032-1333283.
165. Vogelaere P., Savourney G., Deklunder G., Lecroart J., Brasseur M., Bekaert S., Bittel J. 1992. Reversal of cold induced haemoconcentration. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* (64)3, 244-249.
166. Westerlund T., Smolander J., Uusitalo-Koskinen A., Mikkelsen M. 2004. The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women. *Journal of Thermal Biology* 29, 6, 285-290, ISSN: 0306-4565.
167. White G.E., Wells G.D. 2013. Cold-water immersion and other forms of cryotherapy: Physiological changes potentially affecting recovery from high-intensity exercise. *Extreme Physiology and Medicine* 2(1). <https://doi.org/10.1186/2046-7648-2-26>.
168. Woźniak A., Woźniak B., Drewa G., Mila-Kierzenkowska C., Rakowska A. 2007. The effect of whole-body cryostimulation on the prooxidant-antioxidant balance in blood of elite kayakers after training. *European Journal of Applied Physiology* 101, 533-537.
169. Woźniak A., Woźniak B., Drewa G., Mila-Kierzenkowska C., Rakowski A. 2007. The effect of whole-body cryostimulation on lysosomal enzyme activity in kayakers during training. *European Journal of Applied Physiology* 100(2) 137-42.

170. Wyrostek J., Piotrowska A., Czerwińska-Ledwig O., Zuziak R., Szyguła Z., Cisoń T., Żychowska M., Pilch W., 2021. Complex effects of whole body cryostimulation on hematological markers in patients with obesity. *PLoS ONE* 16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249812>
171. Young A.J., Castellani J.W. 2007. Exertional fatigue and cold exposure: mechanisms of hiker's hypothermia. *Applied Physiology Nutrition Metabolism* 32(4):793-8. doi: 10.1139/H07-041.
172. Young A.J., Muza S.R., Sawka M.N., Pandolf K.B. 1987. Human vascular fluid responses to cold stress are not altered by cold acclimation. *Undersea Biomedical Research* 1987; (14), 215-228.
173. Young A.J., 1996. Human Adaptations To Cold Stress. *Physiological Basis of Occupational Health: Stressful Environments* 53-67.
174. Young A.J., Muza S.R., Sawka M.N., Pandolf K.B. 1987. Human vascular fluid responses to cold stress are not altered by cold acclimation. *Undersea Biomed. Res.* 14, 215-228.
175. Zalewski P., Tafil-Klawe M., Klawe J.J., Buszko K., Lewandowski A., Panowicz I., 2009. Zmiany wybranych parametrów hemodynamicznych po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej u osób zdrowych. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 3, vol. 15.
176. Zalewski P., Klawe J.J., Pawlak J., Tafil-Klawe M., Newton J. 2013. Thermal and hemodynamic response to whole-body cryostimulation in healthy subjects. *Cryobiology* 66, 295-302.
177. Ziemann E., Olek R.A., Kujach S., Grzywacz T., Antosiewicz J., Garszka T., Laskowski R. 2012. Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training* (47), 664-672.

9. SPIS RYCIN

Rycina 1. Standaryzowane przyrosty stężenia jonów oraz białka całkowitego po serii zabiegów odpowiednio WBH (s) i WBC(k)	28
Rycina 2. Standaryzowane przyrosty stężenia hormonów po serii zabiegów odpowiednio WBH (s) i WBC(k)	31
Rycina 3. Zmiany objętość osocza badanych w odpowiedzi na test wysiłkowy przed i po serii zabiegów cieplnych.....	33
Rycina 4. Ciśnienie tętnicze i przyrosty ciśnienia tętniczego krwi indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed i po serii zabiegów WBH i WBC	35
Rycina 5. Tętno i przyrosty tętna indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego w grupach kontroli i po serii zabiegów WBH i WBC	36
Rycina 6. Przyrosty temperatury wewnętrznej oraz lokalnych temperatur skóry indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed (S) i po serii zabiegów (T) odpowiednio WBH i WBC.....	37
Rycina 7. Temperatura ciała i średnia temperatura skóry oraz ich zmiany w odpowiedzi na wysiłek fizyczny przed i po interwencjach cieplnych WBH i WBC	38
Rycina 8. Standaryzowane na spoczynek przyrosty aktywności wybranych enzymów, markerów tkankowych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny (W), po 1 h restytucji (1R), po 24 h odpoczynku (24R) przed i po serii 10 zabiegów (T) kriostymulacji ogólnoustrojowej (WBC) oraz przed i po serii 10 zabiegach kąpieli w saunie (WBH).....	39

10. SPIS TABEL

Tabela 1. Charakterystyka somatyczna badanych.....	23
Tabela 2. Charakterystyka funkcjonalna badanych.....	24
Tabela 3. Charakterystyczne cechy funkcjonalne w spoczynku przed i po serii zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej (WBC) i kąpieli w saunie (WBH)	25
Tabela 4. Cechy hematologiczne krwi i osmolalność osocza przed i po zabiegach WBH w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego	26
Tabela 5. Cechy hematologiczne krwi i osmolalność osocza przed i po zabiegach WBC w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego	26
Tabela 6. Średnie wartości stężenia wybranych elektrolitów w osoczu krwi w spoczynku i przed i po serii zabiegów WBH i WBC	28
Tabela 7. Efekty działania WBH na aktywność wybranych markerów mikrouszkodzeń tkankowych w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego przed i po działaniu serii zabiegów WBH	29
Tabela 8. Efekty działania WBC na aktywność wybranych markerów mikrouszkodzeń w spoczynku i po zakończeniu wysiłku fizycznego przed i po działaniu serii zabiegów WBC.....	30
Tabela 9. Efekty działania WBH na stężenie wybranych hormonów w spoczynku przed i po działaniu serii zabiegów WBH i WBC	31
Tabela 10. Zmiany masy ciała, mocy oraz całkowity czas wykonywania wysiłku przed i po serii zabiegów WBH i WBC	33

11. STRESZCZENIE

11.1. Streszczenie w języku polskim

EFEKTYWNOŚĆ ODDZIAŁYWANIA SERII ZABIEGÓW CIEPLNYCH I KRIOSTYMULACJI CAŁEGO CIAŁA NA OBCIĄŻENIE MECHANIZMÓW FIZJOLOGICZNYCH ORAZ WYTRZYMAŁOŚĆ ZAWODNIKÓW UPRAWIAJĄCYCH BIEGI NARCIARSKIE

Głównym celem pracy była ocena efektywności oddziaływania serii regularnych kąpiele w suchej saunie fińskiej i kriostymulacji całego ciała na obciążenie mechanizmów fizjologicznych podczas wysiłku oraz przebieg procesu restytucji po wysiłku u zawodników uprawiających biegi narciarskie.

Badaniami objęto grupę 25 biegaczy narciarskich, zawodników klasy mistrzowskiej AZS w Katowicach. Badania zostały przeprowadzone w okresie przejściowym (TP) makrocyklu treningowego biegaczy narciarskich w ramach realizacji projektu badawczego nr 0050/RS4/2016/54. Badani uczestniczyli w serii zabiegów kriostymulacji (WBC) i serii 10 kąpiele w suchej saunie (WBH) w celu wykazania wpływu tych zabiegów na cechy reakcji systemowych, zmiany biochemiczne i hormonalne podczas i po zakończeniu testu wysiłkowego. Włączenie badanych do serii doświadczalnej z zastosowaniem zabiegów WBH czy WBC podlegało randomizacji. Uczestnicy wykonali dwa testy wysiłkowe przed i odpowiednio po serii 10 zabiegów kriostymulacji całego ciała (WBC) oraz przed i po serii 10 kąpiele w suchej saunie fińskiej 10 (WBH). Przed i po stosowaniu WBH i WBC oraz przed i po zakończeniu testu wysiłkowego w każdej serii badawczej ocenie podlegały cechy antropometryczne, zmienne fizjologiczne, aktywności wybranych markerów enzymatycznych, wybrane hormony stresu i elektrolity. Uzyskane w badaniach wyniki wykazały, że seria zabiegów kriostymulacji i kąpiele w saunie prowadzi do rozwoju zmian adaptacyjnych w organizmie, które ujawniły się w niektórych cechach badanych w spoczynku. Po serii zabiegów cieplnych (kąpiele w saunie) odnotowano zwiększenie objętości osocza krwi, obniżenie skurczowego ciśnienia tętniczego krwi i tętna, jednak zmianom tym nie towarzyszyły istotne zmiany, temperatury wewnętrznej, skóry i ciała. Po serii 10 kriostymulacji całego ciała (WBC) nie stwierdzono istotnych zmian w cechach funkcjonalnych układu krążenia takich jak: tętno, ciśnienie tętnicze krwi, w temperaturach ciała w porównaniu do kontroli, ale odnotowano zmiany w zachowaniu się wskaźników metabolicznych. Seria powtarzanych ekspozycji na działanie ciepła i zimna wpływała na reakcje fizjologiczne podczas wysiłku fizycznego. Wpływ

ten przejawiał się w tendencji do większej redukcji masy ciała w grupie korzystającej z serii 10 kąpiele w saunie. Nie wykazano istotnych różnic w medianach przyrostów objętości osocza i zmianach średniej masy ciała w odpowiedzi na wysiłek fizyczny o stałym submaksymalnym obciążeniu przed i po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych. Odnotowano różnice w wielkościach przyrostów tętna i ciśnienia tętniczego krwi, zależne od rodzaju stosowanej przed wysiłkiem interwencji cieplnej. Cechy odpowiedzi systemowych na wysiłek fizyczny po zastosowaniu odmiennych interwencji cieplnych wskazały ponadto, że oba typy zabiegów termoterapii silnie oddziaływały na zachowanie się temperatury ciała, temperatury skóry: lokalne i średnie, funkcje układu krążenia, podczas wysiłku o zbliżonym obciążeniu względnym. Po żadnej z zastosowanych interwencji cieplnych nie odnotowano istotnej różnicy w czasie wykonywania wysiłku testowego w porównaniu do badania kontrolnego. Ani zastosowanie serii 10 kąpiele w saunie ani serii 10 kriostymulacji całego ciała nie poprawiło znamiennej wytrzymałości czasowej elitarnych narciarzy biegowych w submaksymalnym teście biegowym. Obie formy interwencji cieplnych zastosowane w badaniach przyczyniły się do poprawy procesu regeneracji po wysiłku i wpływały na gospodarkę płynami, choć efektywność ich zależała od natury stosowanego zabiegu termoterapii i zmian towarzyszących działaniu stosowanego bodźca termicznego. Można przypuszczać, że różnice w wielkości zmian osiągniętych po stosowaniu interwencji ciepła czy zimna w ocenianych wskaźnikach metabolicznych w okresie restytucji mogły decydować o ich efektywności we wspomaganie regeneracji po wysiłku. W zbiorczej ocenie badanych parametrów ogólnoustrojowych, metabolicznych i hormonalnych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i podczas regeneracji zaobserwowano efektywniejszy wpływ zastosowanej serii WBH na zachowanie się funkcji ogólnoustrojowych /układu krążenia i charakterystyki temperaturowe/ podczas wysiłku, natomiast zabiegów kriostymulacji na parametry badane we wczesnej regeneracji powysiłkowej.

11.2. Streszczenie w języku angielskim

EFFECTIVENESS OF A SERIES OF HEAT AND WHOLE-BODY CRYOSTIMULATION TREATMENTS ON THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND THE TOTAL TIME (DURANCE) OF EXERCISE IN ELITE CROSS-COUNTRY SKIERS

The purpose of this study was to determine the effectiveness of a series of regular Finnish dry sauna baths and whole-body cryostimulation on the physiological responses to an endurance exercise and the recovery processes in cross-country skiers.

The study was carried out in 25, men elite cross-country skiers, championship-class athletes of the Academic Sports Association in Katowice. The study was performed during the transition period (TP) of the cross-country skiers' training macro-cycle as a part of the research project No. 0050/RS4/2016/54. All the subjects participated in a series of ten cryostimulation (WBC) treatments and a series of 10 dry sauna baths (WBH) to show the effects of these treatments on the features of physiological responses, biochemical and hormonal changes during and after the exercise test. Participants performed two exercise tests before and after a series of 10 whole-body cryostimulation (WBC) treatments and before and after a series of 10 Finnish dry sauna 10 baths (WBH), respectively. The inclusion of subjects to the experimental protocol (WBH or WBC) was randomized. Before and after the application of WBH and WBC, as well as before and after the completion of exercise test in each study series, anthropometric characteristics, physiological variables, activities of selected enzyme markers, selected stress hormones and electrolyte concentrations were evaluated. The obtained results in this study indicated that a series of whole-body cryostimulation (WBC) and series of ten sauna baths (WBH) lead to develop the adaptation to stressors, which were revealed at rest. After a series of heat sauna baths, there was an increase in plasma volume, a decrease of systolic blood pressure and heart rate, but these changes were not accompanied with significant changes of internal, skin and body temperatures. After a series of 10 whole-body cryostimulation (WBC), there were no significant changes in cardiovascular characteristics such as: heart rate, blood pressure, body temperatures compared to control, however changes in the behavior of tested metabolic indicators were noted. Mainly a series of repeated heat exposures to was capable to influence on physiological responses to exercise. This effect was evident in a trend toward greater reductions in body weight in the group using a series of 10 sauna baths. There were no significant differences in plasma volume and mean body mass response to exercise performed

at the similar, submaximal workload before and after the different thermal interventions. The increase heart rate and blood pressure during exercise tests were different and depend on the type of heat intervention applied before exercise. The features of systemic responses to exercise after the application of different heat interventions further indicated that both types of thermotherapy strongly influence on the behavior of body and, skin temperature: local and mean, cardiovascular functions, during exercise. The features of cardiovascular and thermoregulatory responses highlighted the presence of differences in cardiovascular load, skin temperature and heat accumulation during the exercise test, after different heat interventions, which did not result in significant differences in absolute changes in plasma volume and body weight. There was no significant difference in the total time of exercise TTE after any of the heat interventions used compared to the control study. Neither the use of a series of 10 sauna baths nor a series of 10 whole-body cryostimulation significantly improved the TTE of elite cross-country skiers in the submaximal running test performed in the thermoneutral conditions. Both of thermal treatments applied in this study improved post-exercise recovery and influenced on body fluid, although their effectiveness depended on the nature of thermal therapy and the changes accompanying the effect of relevant thermal stimulus. It can be assumed that application of heat or cold interventions and changes achieved after its treatment associated with metabolic, cardiovascular and thermal responses to exercise may be factors determine the effectiveness of a given type of thermotherapy in supporting post-exercise recovery. In the collective evaluation of the studied systemic, metabolic and hormonal parameters in response to exercise and during recovery, a stronger effect of the applied WBH series was observed in the systemic functions /the circulatory system and temperature characteristics/ during exercise, while the cryostimulation treatments in the behavior of the parameters studied in early post-exercise recovery .