

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**

Autoreferat rozprawy doktorskiej

Promotor

dr hab. Ilona Pokora, prof. AWF Katowice

Recenzenci

prof. dr hab. n.med. Agata Stanek

prof. dr hab. n. o kult. fiz. Andrzej Klimek

Katowice 2023

Spis treści

1. Wstęp	3
1.1. Celowość stosowania termicznych środków odnowy biologicznej w sporcie	4
1.2. Działanie i zastosowanie ciepła oraz efekty towarzyszące stosowaniu kąpeli w saunie i efekty działania zimna	5
2. Materiał i metody	6
2.1 Cel pracy	6
2.2. Pytania badawcze	6
2.3. Hipotezy badawcze	6
2.4. Charakterystyka badanej grupy	7
2.5. Procedura badań	8
2.5.1. Badania wstępne	9
2.5.2. Wysiłki testowe	9
2.5.3. Zabiegi kriostymulacji (WBC)	10
2.5.4. Zabiegi biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH)	10
2.5.5. Oznaczenia biochemiczne	10
2.6. Metody analizy statystycznej	12
3. Wyniki	13
3.1. Efekty działania WBH i WBC na parametry fizjologiczne w spoczynku	13
3.2. Efekty działania WBC i WBH na stężenia wybranych elektrolitów i hormonów w osoczu krwi w spoczynku	14
3.3. Porównanie cech reakcji organizmu na wysiłek fizyczny po serii zabiegów WBH i WBC	16
3.4. Wpływ zastosowanej serii zabiegów WBH i WBC na zmiany aktywności wybranych enzymów w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu	21
4. Wnioski	24
5. Piśmiennictwo	26

1. Wstęp

Przesłaniem do przygotowania niniejszej pracy było pytanie o skuteczność oddziaływania serii zabiegów cieplnych i kriostymulacji ogólnoustrojowej na cechy funkcjonalne w spoczynku i obciążenie mechanizmów fizjologicznych podczas wysiłku fizycznego oraz wytrzymałość 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 zachowaniem homeostazy wysiłkowej i poprawy regeneracji po wysiłku, jako celowym działaniu zmierzającym do poprawy jakości sesji treningowych oraz odpowiedzi organizmu na stres wysiłkowy. W pracy skoncentrowano się na porównaniu wpływu serii zabiegów kriostymulacji oraz przegrzania całego ciała na wybrane cechy funkcjonalne w odpowiedzi na wysiłek i wybrane zmiany biochemiczne po zakończeniu wysiłku fizycznego u sportowców.

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 ogólnoustrojowej na obciążenie mechanizmów fizjologicznych oraz wytrzymałość u sportowców.

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 ($VO_2\max$) 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. W piśmiennictwie z tego zakresu 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 ilość 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.

1.1. 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).

Do metod fizykalnych powszechnie stosowanych w procesie regeneracji organizmu po obciążeniach treningowych należy kriostymulacja ogólnoustrojowa (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, 2009, Pokora i wsp., 2021).

1.2. Działanie i zastosowanie ciepła oraz efekty towarzyszące stosowaniu kąpiele 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).

2. Materiał i metody

2.1 Cel pracy

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

2.2. 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?

2.3. Hipotezy badawcze

1. Seria zabiegów kriostymulacji i kąpiei 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 zimna indukuje zmiany, które ujawniają się w różnych systemach podczas wysiłku i w procesie restytucji zależnie od rodzaju zastosowanej termoterapii.

2.4. Charakterystyka badanej grupy

Badania zostały przeprowadzone w okresie przejściowym (TP) mezocyklu treningowego biegaczy narciarskich w ramach realizacji projektu badawczego nr 0050/RS4/2016/54 finansowanego z funduszu 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.

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}	SD
Wysokość ciała [cm]	175,8	9,44
Wiek [lata]	21,8	2,78
TBW [L]	45,7	7,70
FM [kg]	8,0	2,73
Masa ciała [kg]	70,7	9,64
Masa mięśni szkieletowych [kg]	35,8	6,36
BMI [kg m^{-2}]	22,8	1,73
BSI [m^2]	1,86	0,09
FM [%]	8,3	2,78
ICF [L]	29,0	4,87
ECF [L]	16,8	2,82
PPM [kcal]	1725,6	227,57

Legenda: TBW-całkowita woda organizmu; BMI – indeks masy ciała; BSI – powierzchnia ciała, FM – zawartość tkanki tłuszczowej; PPM – podstawowa przemiana materii; ICF – zawartość wody wewnątrzkomórkowej; ECF – zawartość wody pozakomórkowej

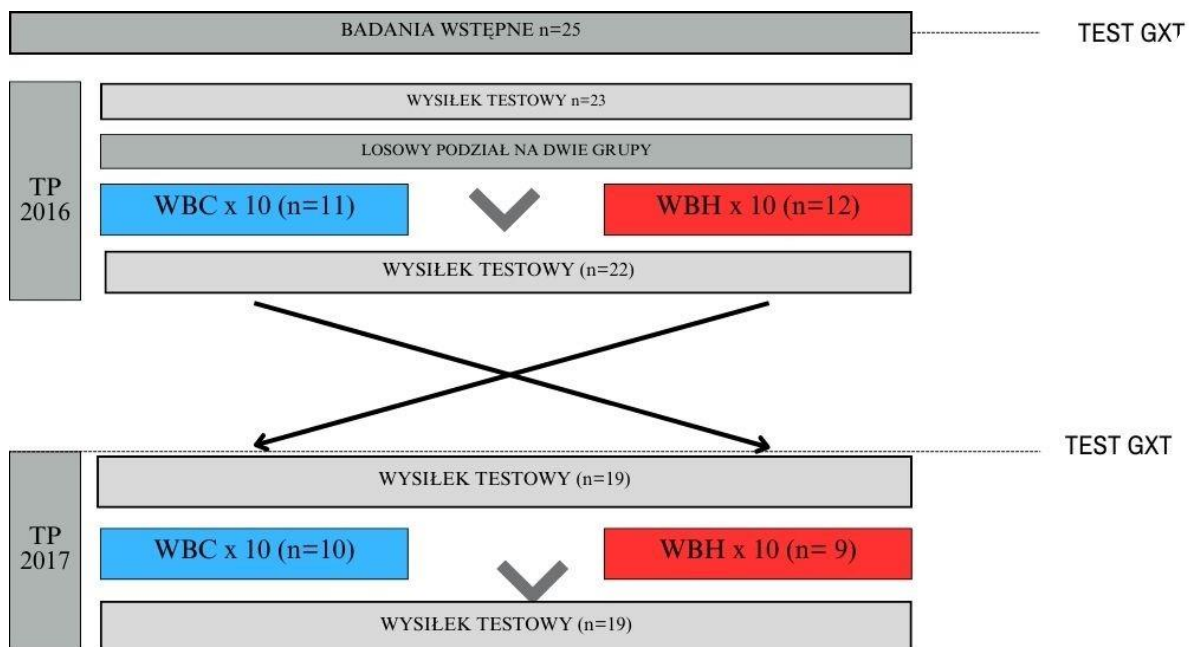
Tabela 2. Charakterystyka funkcjonalna badanych

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
G% _{max}	8,2± 2,6	1,5	12,5
HR _{LT} [ud· min ⁻¹]	173,3 ±7,7	160	183
V _{LT} [km· h ⁻¹]	13,6 ±0,9	12	14
G% _{LT} [%]	1,25 ±1,6	1	5

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

2.5. Procedura badań

Przebieg procedury badawczej przedstawiono na Rycinie 1.



Rycina 1. Schemat procedury badawczej.

Legenda: WBC x 10 – seria zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej, WBH x 10 – seria zabiegów kąpieli w saunie, TP – okres przejściowy

2.5.1. 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 ($VO_{2max}TEST$ – maksymalny pobór tlenu (VO_{2max}), aby ocenić wydolność tlenową (VO_{2max}), oraz wyznaczyć indywidualny próg przemian beztlenowych (iLT) dla każdego uczestnika. Podczas testu rejestrowano częstość skurczów serca (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 (iLT), określenia wartości częstości skurczów serca HR (HRLT) na progu i wykorzystania HRLT w programowaniu i kontroli obciążeń wysiłkowych stosowanych we właściwym teście wysiłkowym (W).

2.5.2. Wysiłki testowe

Uczestnicy wykonali dwa testy wysiłkowe przed i odpowiednio po serii 10 zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowa (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% HR_{LT} 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, i mierzono czas jego wykonywania (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, aby zminimalizować efekty rytmu okołodobowego, przed i po 10 zabiegach odpowiednio kriostymulacji ogólnoustrojowej (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), współczynnik oddechowy RER, (analyzer gazowy Oxycon, Jaeger, Niemcy) oraz częstość skurczów serca (HR) (Sporttester Polar, Finlandia).

W spoczynku i bezpośrednio po wysiłku mierzono: temperaturę kanału słuchowego (Tty)– termometr Ellab A/S Cu/CuNi (Dania), temperatury skóry (Tsk)– teletermometr Cannon; typ TB 77B (UK)) na ramieniu, klatce piersiowej i udzie oraz ciśnienie tętnicze krwi: ciśnienie krwi skurczowe (SBP), ciśnienie krwi rozkurczowe (DBP), i częstość skurczów serca (HR) (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).

2.5.3. 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. W badaniu wykorzystywano kriokomorę Model: CR-2011 CH-1/B, której producentem jest firma Creator Wrocław (Polska). Jest to komora kriogeniczna, składająca się z dwóch pomieszczeń: przedsionka - gdzie temperatura wynosi $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, oraz komory właściwej gdzie temperatura może przyjmować wartości w zakresie od $-110\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chłodziwem w tego typu kriokomorze jest ciekły azot. Badani wchodzili do komory w grupach po pięć osób. Każda sesja kriostymulacji trwała 3 minuty ($-130\text{ }^{\circ}\text{C}$). Wejście do kriokomory poprzedzono 30 s okresem adaptacji w przedsionku (w temperaturze $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$), 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.

2.5.4. Zabiegi biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH)

Serię zabiegów biernego nagrzewania całego ciała badanych (WBH) przeprowadzano w suchej saunie fińskiej zlokalizowanej na terenie Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. Aplikowano serię 10 kąpiel 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 kąpiel w saunie, pomiędzy którymi występowała 5-minutowa przerwa, na schłodzenie ciała. Jednorazowa sesja w saunie kończyła się 2-minutowym chłodnym prysznicem (ok. $19\text{ }^{\circ}\text{C}$) i odpoczynkiem.

2.5.5. Oznaczenia biochemiczne

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: 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/ml 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 /aparatus Interlab G26/, a stężenia jonów: sodowych, potasowych i chlorkowych /aparatus /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.

Dodatkowo wyliczono:

- Zmiany objętości krwi i osocza za van Beaumont (1973),
- Średnią temperaturę ciała (T_b) za Stolwijk i Hardy (1966), średnią ważoną temperaturę skóry T_{sk} (MT_{sk}) 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).

2.6. 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). Różnice uznawano za istotne przy $p < 0,05$.

3. Wyniki

3.1. 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, ciśnienia skurczowego krwi (SBP), poborze tlenu i tempie 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 ogólnoustrojowej (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 kąpeli w saunie (WBH)

Zmienne	Seria badawcza WBC		Seria badawcza WBH	
	S X \pm SD	ST X \pm SD	S X \pm SD	ST X \pm SD
HR [ud min ⁻¹] _{spoczynek} pozycja siedząca	70,1 \pm 15,3	66,0 \pm 12	66,1 \pm 11,3	59,1 \pm 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 \pm 0,04	0,73 \pm 0,13***&&	0,44 \pm 0,55	0,56 \pm 0,16*
La [mmol/L]	1,5	1,4 \pm 0,3*	1,4 \pm 0,5	1,4 \pm 0,3
RER	0,76 \pm 0,06	0,9 \pm 0,1***	0,79 \pm 0,026	0,81 \pm 0,02
MET	1,9 \pm 0,13	2,94 \pm 0,47***&&	1,9 \pm 0,4	2,6 \pm 0,5*
Ve [l/min]	20,2 \pm 3,3	19,9 \pm 4,3	23,9 \pm 1,4	22,15 \pm 1,7
Tty [C°]	36,7 \pm 0,6	36,3 \pm 0,6	36,3 \pm 0,5	36,2 \pm 0,4
Tsk [C°]	33,1 \pm 0,45	32,1 \pm 1,24	31,9 \pm 0,7	32,3 \pm 0,7
Tb [C°]	35,4 \pm 0,33	35,3 \pm 0,19	35,3 \pm 0,5	35,1 \pm 0,4
SBP [mmHg]	133 \pm 8,2	136 \pm 11	136,5 \pm 12,4	129 \pm 4,5*
DBP [mmHg]	74,8 \pm 7,2	72,7 \pm 7,8	73,1 \pm 5,9	72,2 \pm 8,7
D PV[%]		+3,53 \pm 4,09		+10,53 \pm 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, Tb- średnia temperatury ciała; Tsk-średnia temperatura skóry; VO₂- pobór tlenu; Tty- temperatura kanału słuchowego; HR- częstość skurczów serca; SBP- skurczowe ciśnienie tętnicze krwi; DBP- rozkurczowe ciśnienie tętnicze krwi; D PV%- 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.

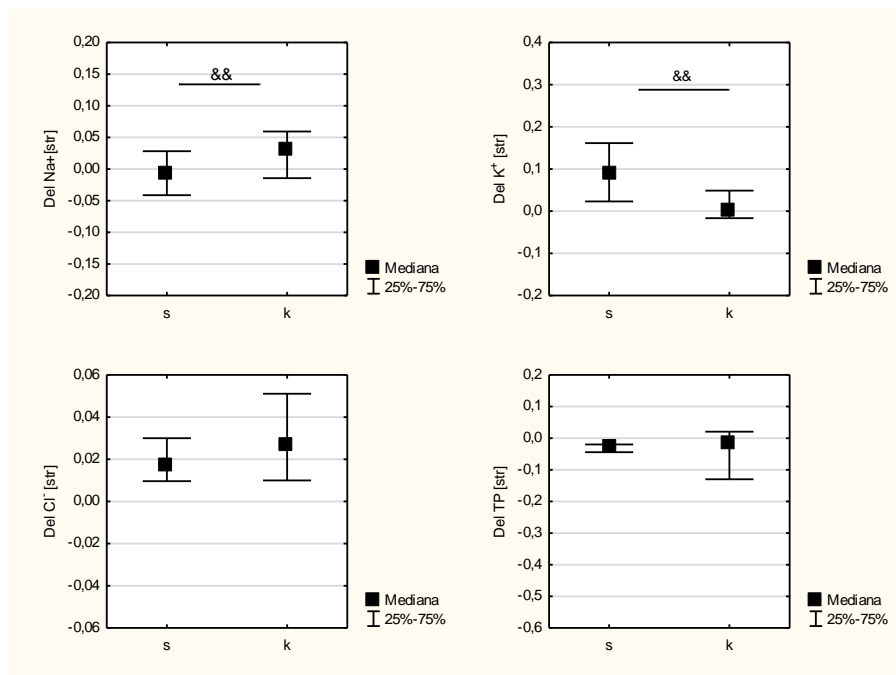
Analiza statystyczna badanych zmiennych funkcjonalnych w spoczynku wykazała, że rodzaj zastosowanych interwencji cieplnej istotnie różnicował spoczynkowe wartości SBP i tempo procesów metabolicznych oraz wpływał na spoczynkowe wartości HR jednak nie odnotowano istotnych różnic w spoczynkowej temperaturze wewnętrznej (Tw), ciała Tb) i skóry (Tsk) 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 kąpieli w saunie przyrost objętości osocza był większy niż po serii zabiegów WBC (tab. 3).

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.

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

Spoczynkowe stężenia jonów $[Cl^-]$ i $[Na^+]$ były zróżnicowane przed i po $[K^+]$ zastosowaniu odmiennych interwencji termicznych.

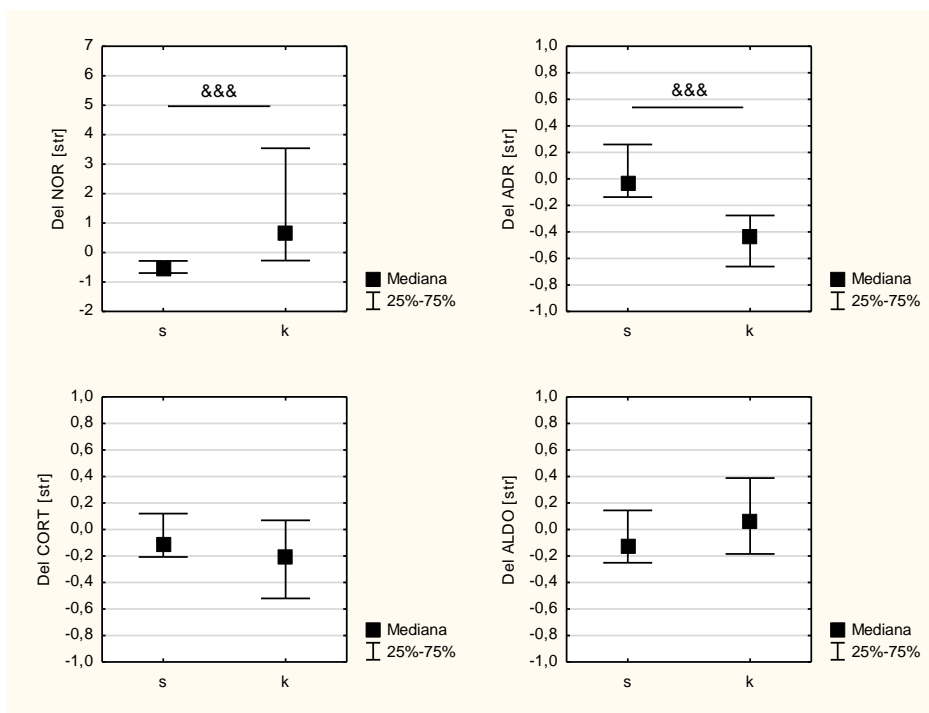


Rycina 2. Standaryzowane przyrosty stężenia jonów oraz białka całkowitego po serii zabiegów odpowiednio WBH (s) i WBC(k)

Legenda: Na- jony sodowe, Cl- jony chlorkowe; K- jony potasowe, TPP- 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 ogólnoustrojowych (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 WBH w porównaniu do serii WBC (p=0,006) (ryc. 2). Nie odnotowano istotnych różnic w przyroście stężenia jonu chlorkowego oraz białka całkowitego.

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 bezwzględny stężeniu pozostałych hormonów.



Rycina 3. Standaryzowane przyrosty stężenia hormonów po serii zabiegów odpowiednio WBH i WBC

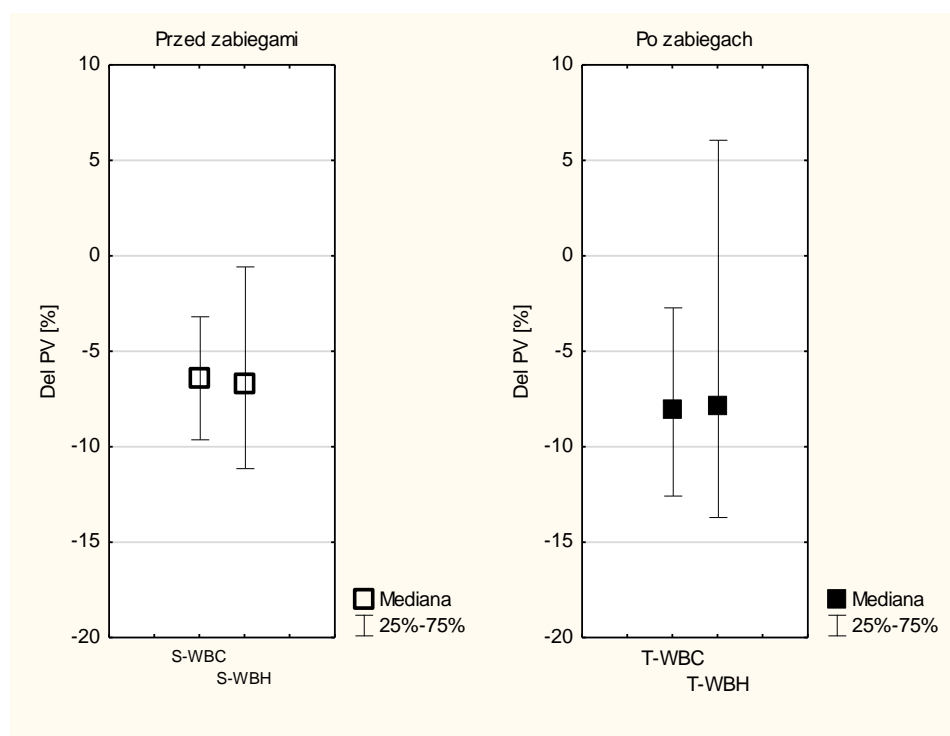
Legenda: ALD- aldosteron, CORT- kortyzol; ADR- adrenalina, NOR,- noradrenalina. && p<0,01; &&& p<0,005 oznacza istotną różnicę pomiędzy serią badawczą po serii zabiegów WBH a WBC. Wartości przedstawiono, jako mediana (25-75 percentyl); s – warunki badań kontrolnych; k warunki badań po serii zabiegów

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 kąpieli w

saunie (WBH) (ryc. 3). Nie odnotowano istotnych różnic w przyrostach stężeń pozostałych hormonów.

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

Zastosowane serie zabiegów WBH i WBC wpłynęło na objętości osocza krwi badanych. Po obu interwencjach cieplnych odnotowano wzrost objętości osocza (del PV%) krwi, jednak po serii kąpeli w saunie przyrost objętości osocza był większy niż po serii zabiegów WBC (tab. 2). 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. 4), jednak w grupie poddawanej działaniu serii WBH wysiłkowa redukcja objętości osocza była większa niż w grupie poddawanej zabiegom (ryc. 4).



Rycina 4. Zmiany objętość osocza badanych w odpowiedzi na test wysiłkowy przed i po serii zabiegów termicznych

Legenda: Del PV, przyrost objętości osocza krwi; S-WBC, S-WBH, wysiłkowe badanie kontrolne; T-WBC, TWBH wysiłkowe badanie po działaniu serii zabiegów cieplnych; WBH seria 10 kąpeli w saunie fińskiej; WBC seria 10 zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,005$ 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. 4).

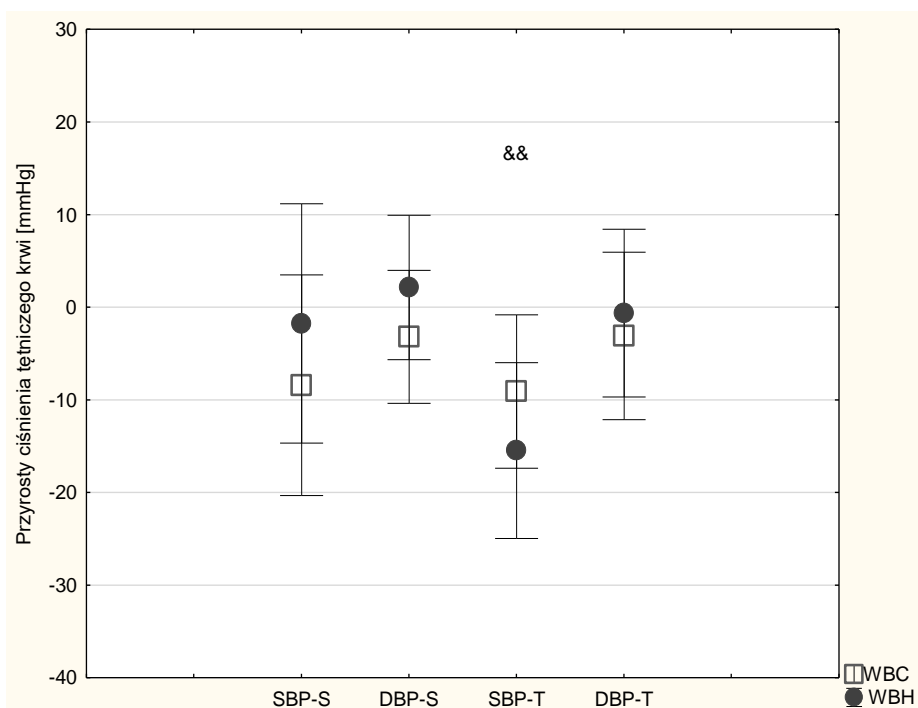
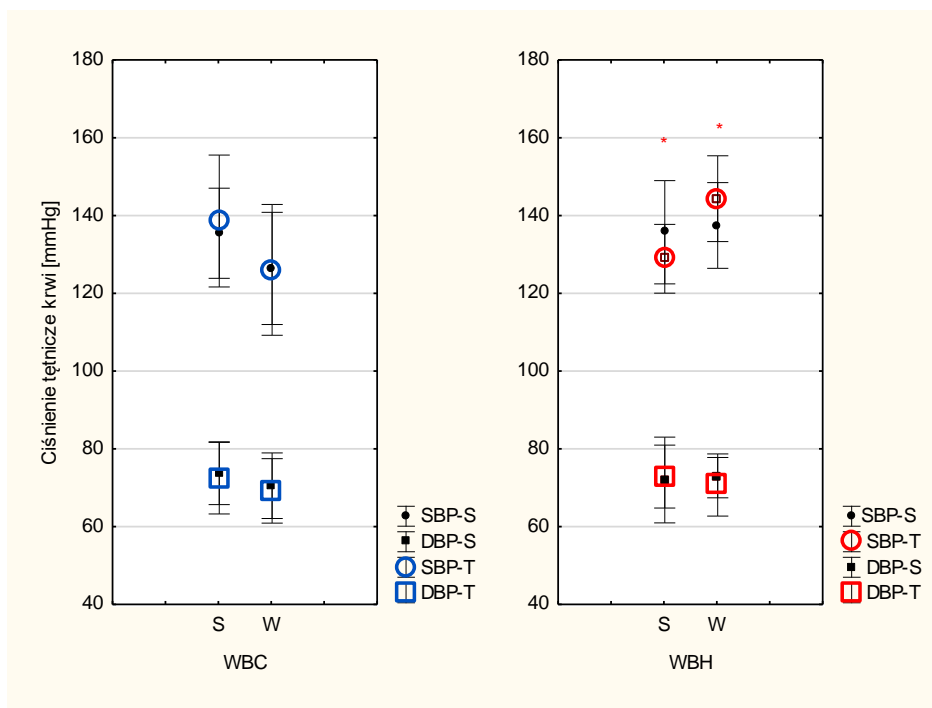
Tabela 4. Zmiany masy ciała, mocy oraz całkowity czas wykonywania wysiłku przed i po serii zabiegów WBH i WBC

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, * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,005$ 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. 2).

Wykonaniu wysiłku testowego (W) towarzyszyła zmiana ciśnienia tętniczego krwi i wzrost częstości skurczów serca. Średnie ciśnienie skurczowe było istotnie niższe przed wysiłkiem po serii kąpeli ciepłych 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. 5).

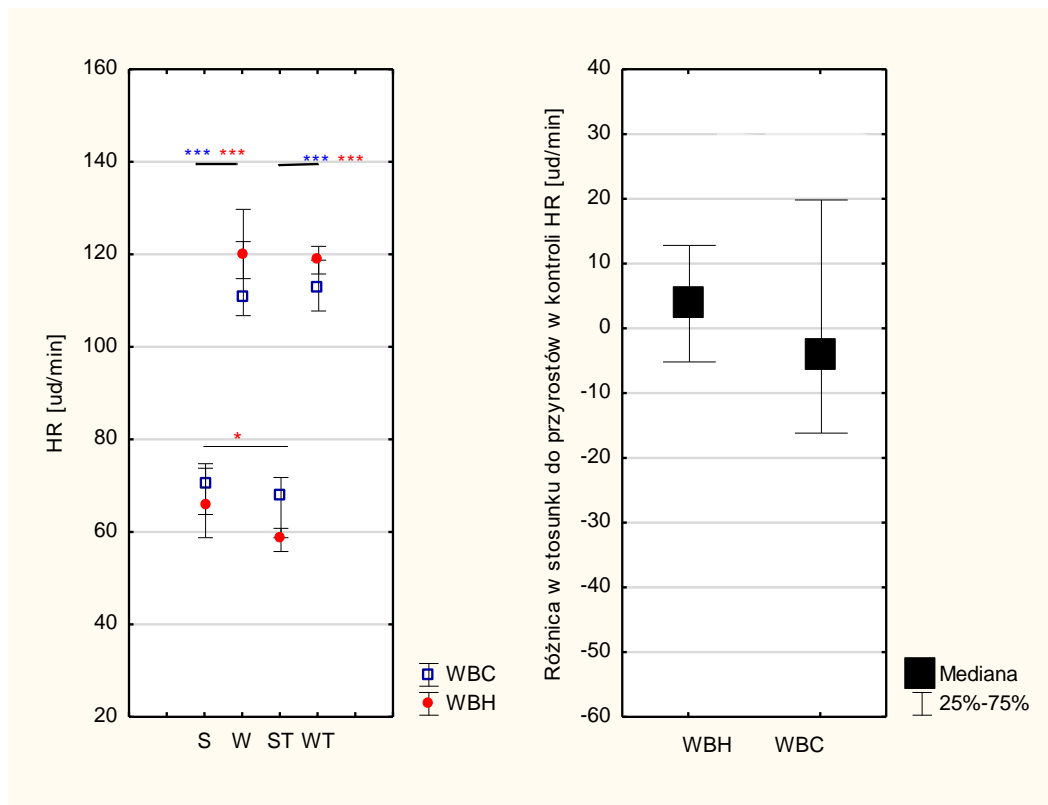


Rycina 5. Ciśnienie tętnicze i przyrosty ciśnienia tętniczego krwi indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed i po serii zabiegów WBH i WBC

Legenda: SBP – 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

W obu grupach odnotowano istotny wzrost częstości skurczów serca powodowany wysiłkiem fizycznym. W odpowiedzi na wysiłek fizyczny przyrost HR ($DEL\ HR = HR_s - HR_R$)

po wysiłku) był wyższy po serii WBH o +12% i +6% po WBC wyższy niż w badaniu kontrolnym. Po wysiłku, po serii zabiegów WBH HR była o +3 ud/min wyższa niż w badaniu kontrolnym, po serii WBC o -1,6 ud/min niż w badaniu kontrolnym. Nie wykazano jednak istotnych różnic w wielkościach przyrostów Częstości skurczów serca (Del HR) w odpowiedzi na wysiłek fizyczny w porównaniu do przyrostów tętna w teście kontrolnym po serii zabiegów WBC i WBH ($p=0,58$) (ryc. 6).

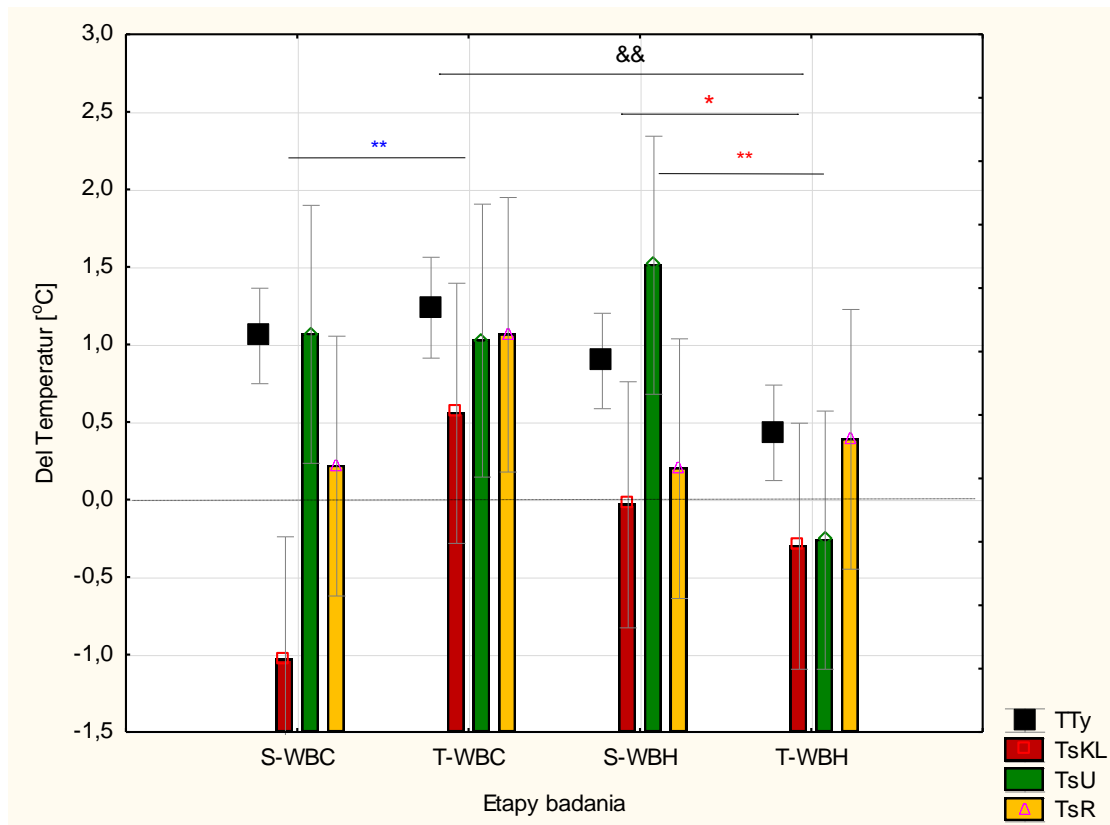


Rycina 6. Częstość skurczów serca i przyrosty częstości skurczów serca indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego w badaniu kontrolnym i po serii zabiegów WBH i WBC

Legenda: HR- częstość skurczów serca. WBH- grupa poddana serii kąpieli 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 serii badawczą z wykorzystaniem zabiegów WBH i WBC)

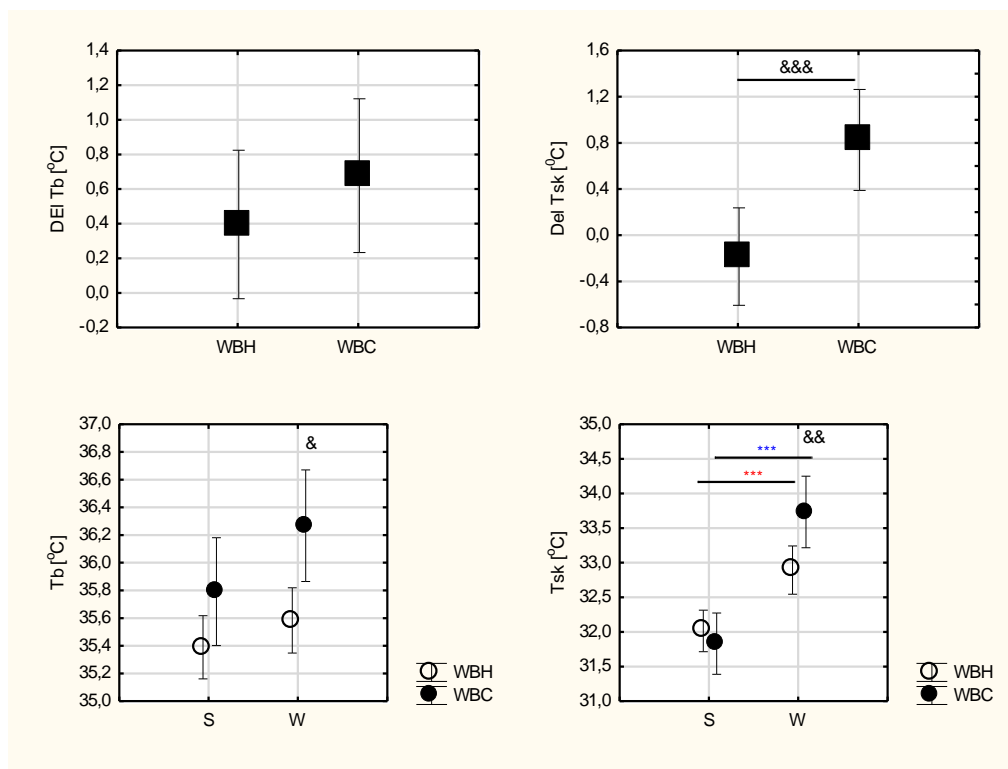
Podczas pracy fizycznej odnotowano zmiany średniej temperatury ciała (T_b) i średniej temperatury skóry (T_{sk}). T_b i T_{sk} były istotnie różnicowane rodzajem zastosowanej interwencji cieplnej przed wysiłkiem T_b ($p=0,046^*$, $\eta^2=0,14$), T_{sk} ($p=0,000^*$, $\eta^2=0,46$). Ponadto obie zmienne temperaturowe były istotnie modyfikowane wykonywaniem wysiłku fizycznego T_b ($p=0,001^*$; $\eta^2=0,33$), T_{sk} ($p=0,029^*$; $\eta^2=0,16$). 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 która przed wysiłkiem korzystała z serii zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej osiągała istotnie wyższe wartości Tb i Tsk po wysiłku niż w badaniu kontrolnym (ryc. 7).



Rycina 7. Przyrosty temperatury wewnętrznej oraz lokalnych temperatur skóry indukowane wykonywaniem wysiłku fizycznego przed (S) i po serii zabiegów (T) odpowiednio WBH i WBC

Legenda: 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



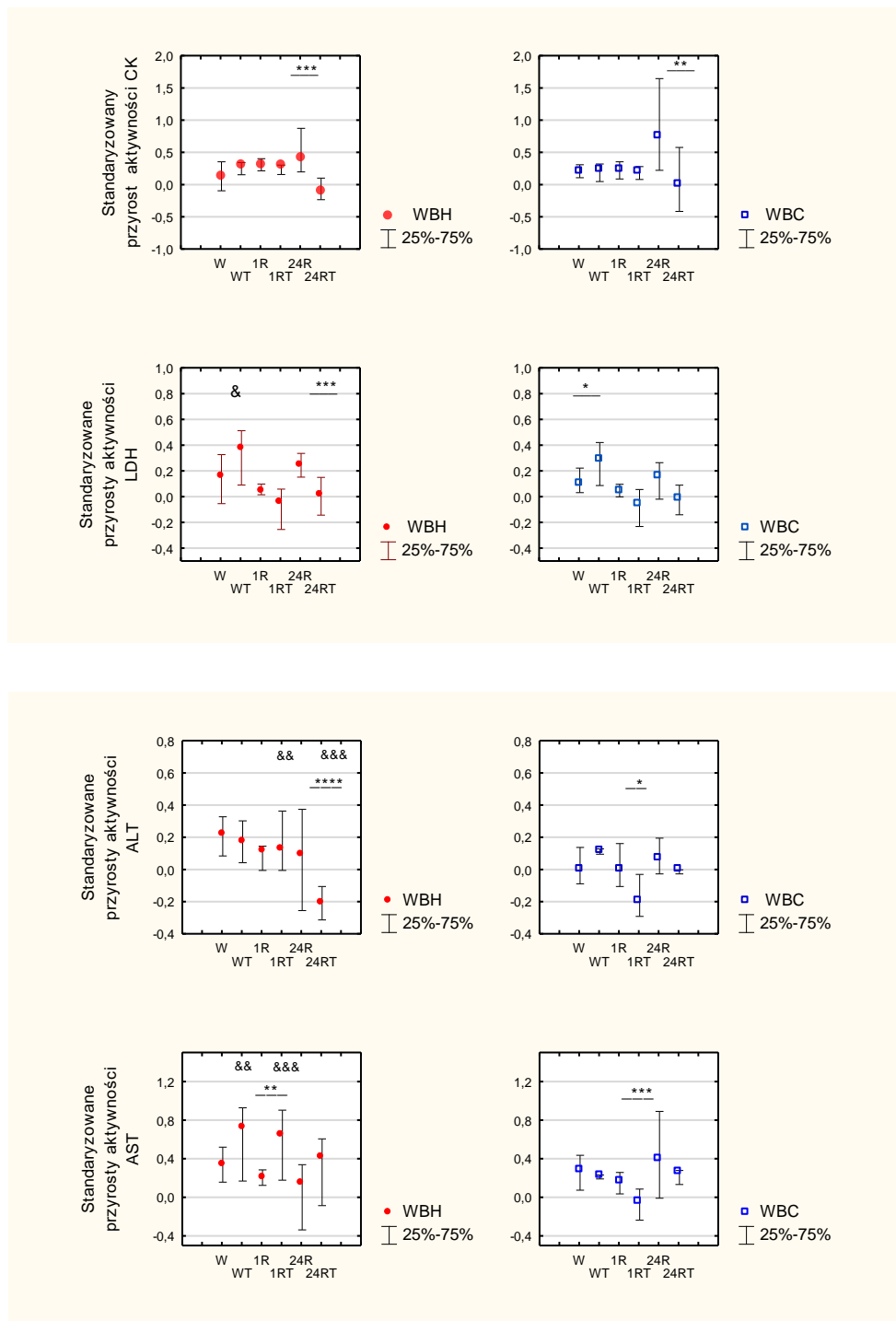
Rycina 8. Średnia temperatura ciała i średnia temperatura skóry oraz ich zmiany w odpowiedzi na wysiłek fizyczny przed i po interwencjach termicznych WBH i WBC

Legenda: Tb- średnia temperatura ciała, Tsk- średnia temperatura skóry; del Tb- przyrost temperatury ciała del Tsk- przyrost średniej temperatura 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.

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. 8).

3.4. Wpływ zastosowanej serii zabiegów WBH i WBC na zmiany aktywności wybranych enzymów w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu

Seria dziesięciu kąpeli w saunie przejawiała istotny wpływ na aktywność AST (p=0,02). Po serii WBH aktywność aminotransferazy asparaginowej była wyższa niż przed zabiegami. Nie odnotowano istotnego wpływu serii dziesięciu kriostymulacji ogólnoustrojowej na aktywność badanych enzymów w krwi badanych.



Rycina 9. 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 kąpeli 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 w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu. Przyrostów aktywności badanych

enzymów były znamienne różnicowane działaniem zabiegów ciepła i kriostymulacji ogólnoustrojowej dla aktywności CK ($\chi^2=26,77$; $p=0,006$, zimna $\chi^2=116,9$; $p=0,04$, dla AST $\chi^2=20,00$; $p=0,009$, zimna $\chi^2=12,9$; $p=0,02$) podobnie dla aktywności ALT $\chi^2=23,00$; $p=0,003$, zimna $\chi^2=14,9$; $p=0,01$). Seria zabiegów WBC silniej wpływała na zmiany przyrostów aktywności LDH ($\chi^2=53,0$; $p=0,000$ niż ciepła $\chi^2=34,12$ $p=0,005$).

Test kolejności par Wilcozona wykorzystany w ocenie istotności różnic w przyrostach aktywności wybranych enzymów wykazał istotny 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 Wilcozona wykorzystany w ocenie istotności różnic w przyrostach aktywności wybranych enzymów wykazał istotny wpływ serii interwencji ciepłych (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 vs ciepła odnotowano istotne różnice w przyrostach aktywności LDH w odpowiedzi na wysiłek ($p=0,03$), ALT odpowiedzi na wysiłek ($p=0,01$) i 24R ($p=0,005$) oraz AST odpowiedzi na wysiłek ($p=0,008$) i w 1R ($p=0,005$) odpowiednio po serii zabiegów WBH i WBC (ryc. 9).

4. Wnioski

1. Oba typy zastosowanych zabiegów jak seria 10 zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowych oraz seria 10 kąpeli w saunie, prowadziły do rozwoju zmian o charakterze przystosowawczym. Po serii zabiegów ciepłych (WBH) zmiany te przejawiały się w spoczynku w postaci: zwiększenia objętości osocza krwi, obniżenia skurczowego ciśnienia tętniczego krwi i częstości skurczów serca, jednak nie towarzyszyły im zmiany temperatury wewnętrznej (T_w), temperatury skóry (średnia ważona T_{sk}) i ciała (T_b). Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych (WBC) nie spowodowała istotnych zmian w spoczynku: częstości skurczów serca, ciśnienia tętniczego krwi czy temperatury wewnętrznej ani średniej ważonej temperatury skóry, odnotowano jednak, zwiększony pobór tlenu, tempo metabolizmu, istotnie niższe stężenie mleczanu, niższe stężenia adrenaliny, kortyzolu i wyższe stężenia jonów $[Na^+]$ i $[Cl^-]$ w krwi w porównaniu do badania kontrolnego.
2. Seria 10 odmiennych temperaturowo interwencji wykorzystanych w badaniach wywarła różny wpływ na reakcje fizjologiczne organizmu na wysiłek fizyczny. Podczas wysiłku po serii 10 kąpeli w saunie odnotowano mniejszy przyrost temperatury wewnętrznej, zmniejszony przyrost ciśnienia skurczowego krwi oraz zwiększoną redukcję masy ciała w porównaniu do badania kontrolnego. Po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny odnotowano wyższy przyrost lokalnej jak i średniej temperatury skóry. Nie stwierdzono znamienych różnic w medianach przyrostów objętości osocza, zmianach średniej masy ciała, częstości skurczów serca ani ciśnienia tętniczego krwi w odpowiedzi na wysiłek po zastosowaniu odmiennych temperaturowo interwencji.
3. Po żadnej z zastosowanych interwencji termicznych nie odnotowano istotnych różnic w czasie wykonywania wysiłku testowego w porównaniu do badania kontrolnego. Ani seria 10 kąpeli w saunie ani seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych nie wpłynęła znamienne na wytrzymałość czasową narciarzy biegowych w zastosowanym teście biegowym.
4. Obie formy interwencji termicznych przyczyniły się do poprawy procesu regeneracji po wysiłku, choć efektywność ich zależała od typu zastosowanego zabiegu termoterapii. Po serii zabiegów ciepłych (kąpeli w saunie) wpływ ten przejawiał się jako: obniżenie przyrostów aktywności enzymów CK, AIT i LDH w 24 godzinie restytucji powysiłkowej w porównaniu do badania kontrolnego, podczas gdy po serii

zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej odnotowano niższe przyrosty aktywności AST i LDH i CK w 1 godzinie restytucji. Można przypuszczać, że różnice w wielkości osiągniętych zmian, czasie ich występowania po zakończeniu wysiłku po zastosowaniu serii kąpieli w saunie vs kriostymulacji ogólnoustrojowej mogły świadczyć o różnej efektywności wspomagania regeneracji po wysiłku zależnie od typu zastosowanej termoterapii.

5. W ogólnym porównaniu oddziaływania serii zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowych z oddziaływaniem serii kąpieli w saunie na odpowiedzi organizmu na wysiłek i po jego zakończeniu częściej stwierdzano wpływ zastosowanej serii kąpieli w saunie niż kriostymulacji ogólnoustrojowej na wielkości przyrostów zmiennych ocenianych podczas testu wysiłkowego (wpływ ten przejawiał się jako mniejszy przyrost ciśnienia tętniczego krwi, mniejszy przyrost temperatury wewnętrznej i lokalnej temperatury skóry nad udem oraz jako większa redukcja masy ciała). Z drugiej strony zastosowanie serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych w porównaniu do interwencji cieplnych przejawiało silniejszy wpływ na zmienne oceniane w okresie restytucji po wysiłku, co przejawiało się w wielkości przyrostów aktywności enzymów LDH, ALT i AST w krwi po zakończeniu wysiłku.

5. Piśmiennictwo

1. Allen D.G., Lamb G.D., Westerblad H. 2008. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 88, 287-332.
2. Banfi, G., Lombardi, G., Colombini, A., Melegati, G. 2010. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med* 40 (6), 509–517. doi: 10.2165/11531940-000000000-00000.
3. 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>.
4. 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>.
5. Burton, A. 1934. The application of the theory of heat flow to the study of energy metabolism. *J Nutr* 7, 497–533.
6. 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>.
7. Charkoudian, N. 2010. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. *Journal of Applied Physiology* 109(4), 1221–1228. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00298.2010>.
8. 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.
9. Costello, J.T., Baker, P.R., Minett, G.M., Bieuzen, F., Stewart, I.B, and Bleakley, C. 2015. Whole-body cryotherapy (extreme cold air exposure) for preventing and treating muscle soreness after exercise in adults. *Cochrane Database Syst. Rev.* 18(9), CD010789. doi:10.1002/14651858.CD010789
10. Harrison M.H. 1976. Intravascular volume and electrolyte changes with acclimatization to heat in man. *The Journal Physiology* 258(1), 30-31.
11. 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>..
12. Hausswirth C., Louis J., Bieuzen F., Pournot H., Fournier J., Filliard J.R., Brisswalter J. 2011. 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>.
13. Horowitz M. 2003. Matching the heart to heat-induced circulatory load: heat-acclimatory responses. *New Physiol Sci* 18, 215-221.
14. Horowitz M., Robinson S.D. 2007. Heat shock proteins and the heat shock response during hyperthermia and its modulation by altered physiological conditions. *Progress Brain Res* 162, 433-446.
15. Jonak A., Skrzek A. 2009. Krioterapia w odnowie biologicznej sportowców – przegląd badań. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica* 15, 319-321.

16. Krasicki S., Błecharz J., Klimek A., Kowalczyk J., Rosiński J., Ruchlewicz T., Sadowski G., Tajner A., Zdebski J. 2010. Narciarstwo biegowe. Polski Związek Narciarski. Studia i Monografie, Akademia Wychowania Fizycznego im. Bronisława Czecha w Krakowie.
17. 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.
18. Losnegard T. 2019. Energy system contribution during competitive cross-country skiing. *European Journal of Applied Physiology* 119(8), 1675-1690.
19. 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>.
20. Lubkowska A., Chudecka M., Klimek A., Szyguła Z., Fraczek B. 2008. Acute effect of a single whole-body cryostimulation or prooxidant-antioxidant balance in blood of healthy, young men. *Journal of Thermal Biol* (33). 464-467.
21. Lubkowska A., Chudecka M., Klimek A., Szyguła Z., Fraczek B. 2008. Acute effect of a single whole-body cryostimulation or prooxidant-antioxidant balance in blood of healthy, young men. *Journal of Thermal Biol* (33), 464-467.
22. 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.
23. 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.
24. 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>.
25. 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.
26. 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.
27. Pokora I. 2009. Rozprawa habilitacyjna: Wpływ krótkotrwałej aklimacji cieplnej na reakcje organizmu na wysiłek ekscentryczny i koncentryczny u mężczyzn. Wydawnictwo AWF Katowice.
28. Pokora I., Sadowska-Krępa E., Wolowski Ł., Wyderka P. 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
29. 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.
30. Sandbakk Ø. 2017. The evolution of champion cross-country-skier training: From lumberjacks to professional athletes. *Int J Sports Physiol Perform* 12, 254-259.
31. 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>

32. Stanek A., Cieślak G., Sieroń A. 2007. Terapeutyczne zastosowanie krioterapii w praktyce klinicznej. *Balneologia 01-03*, 37-45.
33. 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 Wydawnictwo Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach ISSN 0208-5607.
34. 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>
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. Young, A.J. 1996. Homeostatic responses to prolonged cold exposure: human cold acclimatization. In: Fregly MJ, Blatteis CM, editors. *Handbook of physiology: environmental physiology*. Bethesda, MD: American Physiological Society, 419–438.