

Akademia Wychowania Fizycznego
im. Jerzego Kukuczki w Katowicach

Rozprawa na stopień doktora nauk o kulturze fizycznej

**PORÓWNANIE WPŁYWU SERII 10 KRIOSTYMULACJI
OGÓLNOUSTROJOWYCH NA CECHY SOMATYCZNE,
FUNKCJONALNE I WYBRANE ZMIENNE BIOCHEMICZNE
W SPOCZYNKU ORAZ W ODPOWIEDZI NA WYSIŁEK FIZYCZNY
U TRENUJĄCYCH MĘŻCZYZN I KOBIET**

Piotr Wyderka

Promotor

dr hab. Ilona Pokora, prof. AWF Katowice

Katowice 2025

*Pragnę złożyć serdeczne podziękowania Pani Profesor
dr hab. Ilonie Pokorze za nieocenioną pomoc
udzieloną w trakcie przygotowywania rozprawy.
Dziękuję także mojej żonie Julii
za cierpliwość i ciągle motywowanie mnie do pracy.*

Spis treści

1. Wprowadzenie.....	6
1.1 Cechy odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny o stałym obciążeniu. Zmiany funkcjonalne podczas wysiłku fizycznego	6
1.2 Zmiany wybranych markerów biochemicznych w odpowiedzi na wysiłek	7
1.3 Zmiany hematologiczne i wybranych markerów stanu zapalnego	9
1.4 Zróżnicowanie somatyczne i funkcjonalne kobiet i mężczyzn	10
1.5 Ogólne efekty działania zimna na organizm	11
1.5.1 Kriostymulacja ogólnoustrojowa jako metoda stymulacji zimnem osób zdrowych	11
1.5.2 Odpowiedź organizmu na działanie zimna	11
1.5.3 Różnice płciowe w odpowiedzi na działanie zimna.....	13
1.5.4 Aklimacja do zimna.....	13
2. Cel pracy	14
3. Materiał i metody	16
3.1 Charakterystyka badanej grupy	16
3.2 Badania wstępne.....	17
3.3 Badania zasadnicze	18
3.4 Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych.....	18
3.5 Materiał biologiczny	19
3.6 Metody analizy statystycznej	20
4. Wyniki	21
4.1 Wybrane zmienne fizjologiczne w spoczynku i odpowiedzi na wysiłek fizyczny przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych	23
4.1.1 Pobór tlenu (VO_2).....	25
4.1.2 Tempo procesów metabolicznych (RMR).....	26
4.1.3 Częstość skurczów serca (HR)	27
4.1.4 Średnie ciśnienie tętnicze (MAP).....	28
4.1.5 Temperatura wewnętrzna (T_{wew})	29
4.1.6 Średnia ważona temperatura skóry (T_{sk})	30
4.2 Wybrane markery biochemicznych w spoczynku, odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych	31
4.2.1 Aktywność kinazy kreatynowej (CK)	32
4.2.2 Aktywność dehydrogenazy mleczanowej (LDH)	33
4.2.3 Stężenie dialdehydu malonowego (MDA).....	34

4.3 Wybrane zmienne hematologiczne w spoczynku, odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych	35
4.3.1 Liczba leukocytów (WBC).....	36
4.3.2 Liczba erytrocytów (RBC)	37
4.3.3 Stężenie hemoglobiny (HB)	38
4.3.4 Hematokryt (HCT)	39
4.4 Wybrane markery zapalne w spoczynku, odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych	40
4.4.1 Stężenie interleukiny 6 (IL-6)	41
4.4.2 Stężenie czynnika martwicy nowotworów (TNF- α).....	42
4.4.3 Stężenie białka C-reaktywnego (CRP).....	43
5. Dyskusja	44
5.1 Zmiany antropometryczne i fizjologiczne po kriostymulacji ogólnoustrojowej oceniane w spoczynku.....	44
5.1.1 Zmiany fizjologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny	47
5.2 Zmiany hematologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku.....	48
5.2.1 Zmiany hematologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny	49
5.3 Zmiany wybranych markerów biochemicznych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku.....	50
5.3.1 Zmiany wybranych markerów biochemicznych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny	52
5.4 Zmiany wybranych markerów zapalnych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku.....	53
5.4.1 Zmiany wybranych markerów zapalnych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny	54
6. Wnioski	57
7. Piśmiennictwo	59
8. Streszczenie	74
9. Summary	76
10. Wykaz tabel i rycin.....	78

Wykaz najczęściej stosowanych skrótów:

BM- masa ciała	MC- cykl miesięczkowy
C- badanie kontrolne	MDA- dialdehyd malonowy
CK- kinaza kreatynowa	RBC- krwinki czerwone
CO-pojemność minutowa serca	RMR- tempo procesów metabolicznych
CRP- białko C-reaktywne	SV- objętość wyrzutowa serca
FFM- beztłuszczowa masa ciała	TBARS- substancja reagująca z kwasem tiobarbiturowym
FM- masa tkanki tłuszczowej	TBW- całkowita zawartość wody w organizmie
G- nachylenie bieżni na progu	TNF- α - czynnik martwicy nowotworów
HB- hemoglobina	T _{SK} - średnia ważona temperatura skóry
HCT- hematokryt	TT- czas trwania testu do odmowy
HR- częstość skurczów serca	T _{wew} - temperatura wewnętrzna
HR _{LT} – częstość skurczów serca na progu mleczanowym	V _{LT} - prędkość na progu
HR _{max} - maksymalna częstość skurczów serca	VO ₂ - pobór tlenu
IL-6- interleukina-6	VO _{2LT} -pobór tlenu na progu
KRIO- Kriostymulacja ogólnoustrojowa	VO _{2max} – maksymalny pobór tlenu
La _{LT} - próg mleczanowy	WBC- krwinki białe
LDH- dehydrogenaza mleczanowa	W _{max} -moc maksymalna
MAP- średnie ciśnienie tętnicze	

1. Wprowadzenie

Przygotowanie zawodnika do zawodów sportowych jedynie poprzez intensywne jednostki treningowe w obecnych czasach staje się sporadyczną praktyką. Sztaby szkoleniowe korzystając z pomocy lekarzy, fizjologów i fizjoterapeutów stosują różne metody wspomagające proces treningowy lub procesy wypoczynkowe starając się wpłynąć na biologiczne możliwości zawodnika. Przykładem metody, która znalazła zastosowanie w sporcie jest kriostymulacja ogólnoustrojowa jako nieinwazyjna metoda termiczna ograniczająca negatywne skutki wykonywania wysiłków fizycznych. W pierwszym podrozdziale pracy przedstawiono cechy odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny i zachodzące podczas wysiłku zmiany funkcjonalne i metaboliczne. W drugim i trzecim podrozdziale opisano zmiany biochemiczne i hematologiczne towarzyszące wykonywaniu wysiłku fizycznego. Podrozdział czwarty przedstawia stan wiedzy na temat odpowiedzi organizmu na działanie temperatur kriogennych. Wyniki badań poświęconych ocenie wpływu kriostymulacji na organizm sportowca odnoszą się zwykle do warunków spoczynkowych. Niewielka liczba prac poświęcona jest zmianom wysiłkowym lub restytucji powysiłkowej po zastosowaniu serii oddziaływań temperaturami kriogennymi, dlatego zaprezentowaną pracę charakteryzuje nowatorskie podejście do tematu, które otwiera nowe perspektywy naukowe, oparte na wykorzystaniu narzędzi statystycznych. Zakładając, że seria kriostymulacji ogólnoustrojowej może indukować zmiany o charakterze przystosowawczym oraz, że efektywność jej działania może być różna u mężczyzn i kobiet, w niniejszej pracy podjęto próbę sprawdzenia czy seria kriostymulacji ogólnoustrojowej może prowadzić do rozwoju zmian adaptacyjnych i czy jest ona uwarunkowana płciowo.

1.1 Cechy odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny o stałym obciążeniu. Zmiany funkcjonalne podczas wysiłku fizycznego

Praca mięśni szkieletowych wraz z towarzyszącą jej zmianą czynnościową organizmu definiowana jest jako wysiłek fizyczny (*Malińska i Młynarczyk, 2020*). Podczas wysiłku znamienne zwiększa się zapotrzebowanie organizmu na energię, stąd notuje się zwiększone zapotrzebowanie na tlen, zwiększone tempo procesów metabolicznych, produkcji dwutlenku węgla oraz metabolicznej produkcji ciepła. Zwiększonemu zapotrzebowaniu energetycznemu, szczególnie pracujących mięśni, towarzyszą zmiany systemowe obejmujące m.in. układ

krążenia i układ oddechowy, a dużej produkcji ciepła metabolicznego i jego kumulacji w organizmie towarzyszy wzrost temperatury wewnętrznej ciała oraz zmiany temperatury skóry (Kenny i McGinn, 2016; Malińska i Młynarczyk, 2020). Podczas wysiłku współczulny układ nerwowy i układ renina-angiotensyna-aldosteron (RAAS) odgrywa ważną rolę, pośrednicząc w zwiększeniu częstości akcji serca i wzrostu ciśnienia krwi u normalnej zdrowej populacji (Kim D., i wsp. 2016). Wzmoczona praca serca powoduje wzrost przepływu krwi głównie w pracujących mięśniach szkieletowych, sercu i skórze kosztem zmniejszenia przepływu przez nerki, wątrobę oraz narządy trzewne (Wojtasik i wsp. 2015; Nystoriak i Bhatnagar, 2018). Zmienia się także wartość ciśnienia. W wysiłkach dynamicznych w odpowiedzi na zwiększoną objętość wyrzutową serca i siłę skurczów serca, skurczowe ciśnienie tętnicze wzrasta wraz ze wzrostem obciążenia pracą o 50 – 70 mmHg. Przy czym rozkurczowe ciśnienie krwi pozostaje praktycznie niezmienione w wyniku rozszerzenia naczyń krwionośnych i zmniejszenia całkowitego oporu obwodowego (Lakkanen J., i wsp. 2012). Jeżeli wysiłek fizyczny wykonywany jest przy stałym obciążeniu pracą to przejawy funkcji wielu układów, w tym układu krążenia, mogą osiągać tzw. „stan równowagi czynnościowej” w którym zmienne fizjologiczne (np. VO_2 , HR) stabilizują się na określonym, podwyższonym w stosunku do spoczynku poziomie, proporcjonalnie do intensywności wysiłku. W wysiłkach o umiarkowanej intensywności osiągnięcie przez organizm stanu równowagi czynnościowej pozwala zwykle na wykonywanie pracy przez dłuższy czas, bez kumulacji kwaśnych produktów przemiany materii.

1.2 Zmiany wybranych markerów biochemicznych w odpowiedzi na wysiłek

Przemianom metabolicznym zachodzącym podczas wysiłku w warunkach tlenowych towarzyszy produkcja reaktywnych form tlenu (ROS) (Czerska i wsp. 2015; Kulbacka i wsp. 2009). Równowaga oksydacyjno-antyoksydacyjna ustala się, gdy produkcja i inaktywacja ROS równoważą się (Jówko, 2021). Nadmierna produkcja ROS lub niewystarczająca obrona antyoksydacyjna powoduje zaburzenie tej równowagi i w konsekwencji dochodzi do szkodliwego działania reaktywnych form tlenu na organizm (Woźniak i wsp. 2007). W trakcie działania reaktywnych form tlenu na organizm dochodzi do peroksydacji lipidów błonowych, które prowadzą do zmian funkcjonalnych błon komórkowych oraz ich uszkodzeń, a w konsekwencji do powstania stanu zapalnego i opóźnionej bolesności mięśniowej (Jówko, 2021). Jednym z najczęściej stosowanych

markerów wykorzystywanych do oceny peroksydacji lipidów błonowych jest stężenie dialdehydu malonowego (MDA) (*Fraga i wsp. 2014*). MDA może pochodzić z dwóch źródeł: spożywanego pokarmu oraz peroksydacji lipidów (*Całyniuk i wsp. 2016*). Dialdehyd malonowy powstaje w procesie peroksydacji nienasyconych kwasów tłuszczowych obecnych w fosfolipidach błonowych. Dzięki zdolności tworzenia wiązań kowalencyjnych może modyfikować strukturę i właściwości błon komórkowych, wpływając na prawidłowe funkcjonowanie narządów wewnętrznych (*Veneskoski i wsp. 2011; De Bont i Van Larebeke, 2004*). Wzrost peroksydacji lipidów błonowych może przyczyniać się do zwiększenia przepuszczalności błon komórkowych i zwiększonego wypływu enzymów komórkowych do krwi. Z tego powodu w monitorowaniu uszkodzeń komórek mięśniowych ocenia się zmiany aktywności kinazy kreatynowej /formy mięśniowej/ i dehydrogenazy mleczanowej (LDH) we krwi i wykorzystuje jako znaczniki uszkodzeń komórek mięśniowych (*Schlattner i Tokarska-Schlattner, 2004*). Po intensywnym wysiłku fizycznym aktywność kinazy kreatynowej we krwi wzrasta, co może wskazywać na mechaniczne uszkodzenia sarkolemmy (*Branccaccio i wsp. 2007*). Również po wysiłku, w którym dominują skurcze ekscentryczne notowano wzrost aktywności kinazy kreatynowej jako efekt łącznego mechanicznego i metabolicznego uszkodzenia mięśniowego w czasie tego typu skurczów (*Pokora i wsp. 2014*). Aktywność kinazy kreatynowej (CK) we krwi wzrasta po zakończeniu wysiłku, osiągając najwyższe wartości w 24-48 h restytucji, a następnie wraca do wartości wyjściowych. Utrzymująca się przez dłuższy czas po wysiłku wysoka aktywność CK we krwi może świadczyć o poważnych uszkodzeniach włókien mięśniowych i przetrenowaniu (*Doeven i wsp. 2018; Koch i wsp. 2014*). Dehydrogenaza mleczanowa (LDH) jest enzymem cytoplazmatycznym obecnym w prawie wszystkich tkankach, a w dużych stężeniach w mięśniach, wątrobie i nerkach (*Farhana i Lappin, 2023*). LDH występuje w pięciu izoformach, w dwóch typach podjednostek (mięśnie i serce) (*Spriet i wsp. 2000*). W wyniku uszkodzeń tkanek lub z powodu stresu oksydacyjnego, LDH uwalniana jest do krwi (*Gustavo i wsp. 2017*). W zależności od rodzaju uszkodzenia, enzym ten może wykazywać podwyższoną aktywność we krwi nawet do siedmiu dni (*Spriet i wsp. 2000*). Wzrost aktywności LDH we krwi może być spowodowany wysiłkiem fizycznym, a najwyższe aktywności notowano po 6 godzinach od zakończenia wysiłku (*Callegari i wsp. 2017*).

1.3 Zmiany hematologiczne i wybranych markerów stanu zapalnego

Wysiłek fizyczny, a szczególnie trening wytrzymałościowy prowadzi do zmniejszenia liczby krwinek czerwonych (RBC), stężenia hemoglobiny (HB) oraz poziomu hematokrytu (HCT) we krwi sportowca (*Shaskey i wsp. 2000; Schumacher i wsp. 2002*). Sportowcy w porównaniu z osobami nietreningowymi charakteryzują się zwykle niższym stężeniem HB, HCT i liczbą krwinek czerwonych, z powodu zwiększonej objętości osocza w następstwie treningu wytrzymałościowego. Ta pozorna „niedokrwistość” nazywana jest anemią sportową (*Damian i wsp. 2021*). Z kolei w odpowiedzi na jednorazowy wysiłek wytrzymałościowy obserwuje się wzrost liczby krwinek czerwonych (RBC), stężenia hemoglobiny (HB) oraz poziomu hematokrytu (HCT), jako efekt utraty objętości osocza towarzyszący poceniu i parowaniu wody z górnych dróg oddechowych. Umiarkowany wysiłek fizyczny podejmowany przez zdrowe osoby, poprawia sprawność działania układu odpornościowego (*Nieman i Wentz, 2019; Petersen i Pedersen, 2005*). Intensywne i długotrwałe wysiłki mogą prowadzić zaś do osłabienia funkcji immunologicznych. Wysiłek fizyczny o wysokiej intensywności powoduje zmiany w liczbie leukocytów (WBC) podobne do obserwowanych podczas infekcji bakteryjnej (*Sen i wsp. 2000*). Liczba leukocytów we krwi wzrasta natychmiast po zakończonym wysiłku i może pozostawać na podwyższonym poziomie w czasie restytucji (*Natale i wsp. 2003; Peake i wsp. 2017*), co związane jest z mobilizacją puli marginalnej leukocytów (*Prestes i wsp. 2008*), a także ich mobilizacją z rezerwuarów leukocytów, takich jak wątroba, płuca, śledziona, węzły chłonne, jelita, szpik kostny, grasica, a nawet mięśnie szkieletowe. Leukocytoza indukowana wysiłkiem fizycznym jest zjawiskiem przejściowym, a prawidłowa liczba leukocytów zwykle powraca do poziomu sprzed wysiłku fizycznego w ciągu 24 godzin po zaprzestaniu ćwiczeń (*Simpson i wsp. 2015*). Wykonywaniu wysiłku submaksymalnego może także towarzyszyć zwiększona sekrecja cytokin (*Clarskon i Hubal, 2002*). Wśród najczęściej opisywanych jest interleukina 6 (IL-6), której stężenie związane z wykonywaniem wysiłku zależne jest od czasu jego trwania oraz intensywności (*Ostrowski i wsp. 1999*). IL-6 uznawana jest za cytokinę zapalną, ale może również wywierać silną odpowiedź przeciwzapalną poprzez zwiększenie produkcji antagonisty receptora IL-1 i cytokin przeciwzapalnych oraz poprzez hamowanie wytwarzania cytokin prozapalnych. Jego reakcja na wysiłek nie jest poprzedzona wzrostem TNF α i nie jest koniecznie związana z uszkodzeniem mięśni (*Pokora i wsp. 2014; Pedersen B. i wsp. 2008*). Czynniki martwicy nowotworów (TNF- α) produkowany jest przez prawie wszystkie komórki ustroju człowieka, a szczególnie

przez monocyty i makrofagi, uczestnicząc w regulacji procesów immunologicznych (*Jurkowski i Bobek, 2006*). Klasyczne cytokiny prozapalne (TNF- α) na ogół nie zwiększają swojego stężenia w odpowiedzi na wysiłek, jednakże zwiększone stężenie tej cytokiny notowane jest w stanach ciężkiej infekcji (*Petersen i Pederson, 2005*). Białko ostrej fazy (CRP) powstaje w wątrobie pod wpływem działania cytokin zapalnych. W obecności jonów wapnia CRP wiąże polisacharyd C błony komórkowej bakterii i w konsekwencji uruchamia proces fagocytozy. Uznaje się, że stężenie CRP we krwi powyżej 8-10 mg/L świadczy o obecności stanu zapalnego. Stężenie CRP powyżej 40 mg/L wskazuje na obecność ciężkiego zakażenia (*Byrska i Stańczyk, 2017*).

1.4 Zróżnicowanie somatyczne i funkcjonalne kobiet i mężczyzn

Kobiety w porównaniu z mężczyznami cechuje mniejsza masa i wysokość ciała. Analizując skład ciała, stwierdza się większy procentowy udział tkanki tłuszczowej, mniejszą masę mięśniową oraz mniejszą procentową zawartość wody w organizmie kobiet, w porównaniu do mężczyzn (*Wheatley i wsp. 2014*). Różnice płciowe ujawniają się również w wielkości organów wewnętrznych. Mężczyźni mają większe płuca, szersze drogi oddechowe i większą powierzchnię dyfuzyjną płuc, niż kobiety (*Hopking i Harms, 2006*). Ponadto mają znacznie większą masę i rozmiary lewej komory serca (*Blair, 2006*). Te różnice strukturalne odpowiadają za mniejszą objętość wyrzutową serca (SV), pojemność minutową serca (CO). W czasie trwania wysiłku submaksymalnego, z powodu niższej objętości wyrzutowej (SV) kobiety osiągają wyższe częstości skurczów serca (HR), w celu zwiększenia pojemności minutowej serca, natomiast mężczyźni w większym stopniu wykorzystują mechanizm Franka-Starliga (*Wheatley i wsp. 2014*), przy takim samym obciążeniu pracą. Ponadto, u kobiet niższe jest stężenie hemoglobiny i krwinek czerwonych, zarówno w spoczynku jak i po wysiłku. Wyżej wymienione przyczyny są powodem niższej wydolności oddechowej i krążeniowej u kobiet. W procesach metabolicznych, w porównaniu z mężczyznami, kobiety utleniają więcej kwasów tłuszczowych, a mniej węglowodanów przy tym samym względnym obciążeniu wysiłkowym (*Horton i wsp. 1998*). Charakterystyczną cechą zdrowych młodych kobiet, są cykliczne zmiany stężenia żeńskich steroidowych hormonów płciowych we krwi. Cykl miesięczkowy (MC) charakteryzuje się wahaniami kilku hormonów, przede wszystkim steroidów gonadalnych, hormonów płciowych estradiolu i progesteronu. Wahanie hormonalne w zależności od fazy w cyklu miesięczkowym, prowadzą do występowania podwyższonego

stężenia wyłącznie estrogenów (późny okres folikularny), podwyższonego stężenia estrogenów i progesteronu (środkowy okres lutealny), niskiego stężenia estrogenów i progesteronu (miesiączka) lub rosnąco/spadającego stężenia hormonów (wczesny lub środkowy okres folikularny oraz wczesny lub późny okres lutealny) (*Pokora i wsp. 2022*). Poszczególne fazy cyklu mogą modulować odpowiedź organizmu na wysiłek, np. w fazie lutealnej w porównaniu do fazy folikularnej wpływają na wykorzystanie glikogenu mięśniowego (*Nicklas i wsp. 1989*) oraz utlenianie białek (*Lamont i wsp. 1987*). W piśmiennictwie znajdujemy wyniki badań, które świadczą o występowaniu różnic w poziomie wydolności fizycznej w przebiegu cyklu, jednak wśród autorów nie ma zgodności, która z faz jest najbardziej korzystna do podejmowania przez kobiety wysiłków fizycznych. Estrogeny i progesteron wydają się pełnić zarówno niezależne funkcje w całym organizmie, jak i wydają się mieć przeciwne efekty w odniesieniu do funkcji naczyniowych (*Stephenson i Kolka, 1988*) i regulacji temperatury ciała (*Stachenfeld i wsp. 2000*). Zatem w celu porównań temperatur ciała między mężczyznami, a kobietami, często zaleca się przeprowadzanie badań u kobiet będących we wczesnej fazie folikularnej, gdy stężenie żeńskich hormonów płciowych jest najniższe (*Fleck i Kraemer, 2004*), jednak okres ten trwa zwykle tylko kilka dni.

1.5 Ogólne efekty działania zimna na organizm

1.5.1 Kriostymulacja ogólnoustrojowa jako metoda stymulacji zimnem osób zdrowych

Sukces sportowy zależy od osiągnięcia równowagi między treningiem a regeneracją, aby zminimalizować stres psychiczny i fizyczny wywołany na skutek obciążeń treningowych (*Meeusen i wsp. 2013; Soligard i wsp. 2016*). W celu optymalizacji fizjologicznych procesów wypoczynkowych, organizm sportowca poddawany jest często zabiegom odnowy biologicznej (*Korzonek-Szlacheta i wsp. 2007*). Wśród najpopularniejszych stosowanych metod odnowy biologicznej można wymienić: fizykoterapię, zabiegi w saunie, masaż, naświetlanie ultrafioletem i krioterapię (*Jonak i Skrzek, 2009*).

1.5.2 Odpowiedź organizmu na działanie zimna

W odpowiedzi organizmu na działanie temperatur kriogenicznych dochodzi do pobudzenia termoreceptorów skóry i współczulnego układu nerwowego. Następnie

obserwowane jest zwężenie naczyń krwionośnych skóry i obniżenie temperatury skóry, w celu zminimalizowania utraty ciepła (*Legrand i wsp. 2020*). Ze względu na dużą wrażliwość termiczną skóry, reakcja ta pojawia się praktycznie od razu po ekspozycji na zimno (*Stocks i wsp. 2004*). Kiedy metaboliczna produkcja ciepła nie wystarcza do utrzymania optymalnej temperatury wewnętrznej, mięśnie szkieletowe, zaczynają generować ciepło na drodze mimowolnych, rytmicznych skurczów (termogeneza dreszczowa) (*Kaikaew i wsp. 2018*). W wyniku dalszej ekspozycji, schładzane tkanki są gorzej zapatrywane w tlen i składniki odżywcze, dlatego toczące się procesy metaboliczne stopniowo zwalniają (*Rymaszewska i wsp. 2013*). Jeśli podczas działania zimna na organizm dochodzi do zmiany temperatury wewnętrznej, organizm może uruchamiać termogenezę bezdreszczową zależną od dwóch czynników: gradientu temperatury między ciałem a otoczeniem zewnętrznym oraz zdolnością tkanek do ograniczania strat ciepła, czyli oporu termicznego (*Polidori i wsp. 2018*). Opór termiczny określa izolacja termiczna tkanek ciała oraz przepływ krwi i jest odwrotnie proporcjonalny do przewodnictwa cieplnego. Po zakończeniu oddziaływania zimna dochodzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych, co umożliwia czterokrotnie większy przepływ krwi w skórze niż normalnie. Taką sytuację obserwuje się po ok. 4 minutach od zakończenia ekspozycji ciała na temperatury kriogenne. Ta silna zmiana w krążeniu krwi może trwać nawet do kilku godzin po zakończonej ekspozycji na zimno (*Bouzigon i wsp. 2021*).

Kriostymulacja ogólnoustrojowa to krótkotrwałe działanie kriogenicznych temperatur (poniżej -100°C), w czasie 1-3 minut na organizm, w celu wywołania fizjologicznych reakcji na zimno. By zachować homeostazę termiczną, organizm uruchamia mechanizmy obronne (*Kopański i wsp. 2008*), obejmujące skurcz naczyń krwionośnych skóry i aktywację układu współczulnego. Pozytywnego wpływu stosowania kriostymulacji ogólnoustrojowej można doszukiwać się po serii zabiegów w odniesieniu do działania układu odpornościowego (*Zagrobelny i wsp. 1992; Gannon i wsp. 1997; Oczachowska-Szafrkowska i wsp. 2010; Jackowska i wsp. 2002*), pozytywnych zmian hematologicznych (*Straburzyńska-Lupa i wsp. 2007; Banffi i wsp. 2009*) i związanych z równowagą pro- i antyoksydacyjną (*Fairchild i wsp. 2000; Sieroń i wsp. 2007; Lubkowska i wsp. 2008; Woźniak i wsp. 2007*) oraz regeneracją mięśni po wysiłku fizycznym (*Pournot i wsp. 2011; Abaidia i wsp. 2016; Dupuy i wsp. 2018; Poignard i wsp. 2020*). Dotychczasowe badania naukowe koncentrowały się głównie na kriostymulacji ogólnoustrojowej jako metodzie regeneracji po treningu lub po zakończonym sezonie. Niewielka liczba prac dotyczyła wpływu działania zimna na poprawę zdolności wysiłkowych (*Banfi i wsp. 2010; Lombardi i wsp. 2017; Bouzigon i wsp. 2021*). Stąd powstaje pytanie:

Czy kriostymulacja ogólnoustrojowa jedynie służy do odnowy biologicznej, czy może być stosowana w celu poprawy zdolności wysiłkowych i restytucji po wysiłku?

1.5.3 Różnice płciowe w odpowiedzi na działanie zimna

Głównym źródłem różnic między mężczyznami a kobietami w odpowiedzi na ekspozycję na zimno, są cechy antropometryczne i skład ciała (*Castellani i Young, 2016*). Kobiety mają o 20% mniejszą masę ciała, o 14% więcej tkanki tłuszczowej, o 33% mniej beztłuszczowej masy ciała i o 18% mniejszą powierzchnię ciała niż mężczyźni (*Burse, 1979*). Podczas ekspozycji na zimne powietrze, w porównaniu z mężczyznami, kobiety przejawiają niższą temperaturę skóry (*Cunningham i wsp. 1978; Cholewka i wsp. 2016*), a różnica ta utrzymuje się podczas wysiłku fizycznego (*Walsh i wsp. 2011*). W warunkach stresu wywołanego działaniem zimna, kobiety wykazują mniejszą aktywność termogenezy dreszczowej (*Grucza i wsp. 1999*), a w porównaniu z mężczyznami wykazują większą odporność na utratę ciepła przez skórę zachowując mniejszy gradient pomiędzy temperaturą ich skóry, a otoczeniem (*Polidori i wsp. 2020*).

1.5.4 Aklimacja do zimna

Osoby narażone na działanie zimna przez dłuższy czas mogą doświadczać dostosowania fizjologicznych reakcji do zimna (*Castellani i wsp. 2016*). Aklimacja do zimna zależy od kilku czynników, m. in. od stopnia ochłodzenia ciała i czasu trwania ekspozycji na działanie zimna oraz może przyjmować kilka form. Aklimacja metaboliczna rozwija się wtedy, gdy zwiększona utrata ciepła może zostać skompensowana przez wystąpienie termogenezy drżeniowej lub bezdrżeniowej. Jeśli nie, przeważają mechanizmy izolacyjne (*Dannen i wsp. 2016*). Wyróżnia się zatem aklimację:

- metaboliczną, gdy zwiększone wytwarzanie ciepła przez organizm powiązane jest z występowaniem dreszczy lub termogenezy bezdreszczowej w porównaniu do osób nieprzystosowanych. Tej adaptacji towarzyszy wzrost temperatury skóry, przy niewielkiej zmianie temperatury wewnętrznej (*Feletti, 2016; Dannen i wsp. 2016*).

- izolacyjną, która charakteryzuje się zwiększoną regulacją skórno przepływu krwi. Konwekcyjne straty ciepła są zminimalizowane przez skurcz naczyń krwionośnych skóry i zmniejszony przepływ krwi w tkankach. Tej adaptacji towarzyszy obniżenie temperatury skóry, bez zmian metabolicznych i temperatury wewnętrznej (Ruddock, 2017; Dannen i wsp. 2016).

Kiedy organizm poddany jest ekspozycji na niskie temperatury w celu utrzymania stałej temperatury wewnętrznej, może polegać na właściwościach izolacyjnych lub zwiększyć metaboliczną produkcję ciepła (Acosta i wsp. 2018). Biorąc pod uwagę różnice płciowe w składzie ciała, regulacji temperatury ciała oraz tempie procesów metabolicznych w odpowiedzi na działanie zimna, można przypuszczać, że kobiety i mężczyźni będą rozwijać odmienne formy adaptacji do zimna w celu utrzymania równowagi termicznej ustroju. Przegląd piśmiennictwa z zakresu oddziaływania kriostymulacji ogólnoustrojowej, w większości dostarcza informacji na temat zmian występujących w strukturze i funkcjach organizmu ocenianych w spoczynku. Nieliczne prace poświęcone są ocenie wpływu kriostymulacji ogólnoustrojowej na zmienne oceniane w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu, szczególnie uwzględniając płeć badanych.

2. Cel pracy

Głównym celem pracy było porównanie wpływu serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy somatyczne, funkcjonalne i wybrane zmienne biochemiczne w spoczynku oraz w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu, u trenujących mężczyzn i kobiet.

Postawiono następujące pytania badawcze:

1. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy somatyczne organizmu i w jakich zmiennych ujawniają się te różnice?
2. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy funkcjonalne w spoczynku?
3. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ oddziaływania serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na oceniane zmienne hematologiczne w spoczynku?

4. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na oceniane zmienne biochemiczne w spoczynku?
5. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na stężenie ocenianych cytokin we krwi w spoczynku?
6. Czy płeć istotnie różnicuje cechy odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych?
7. Czy płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na zmiany ocenianych markerów biochemicznych we krwi w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu, i w jakich zmiennych ujawniają się te różnice?

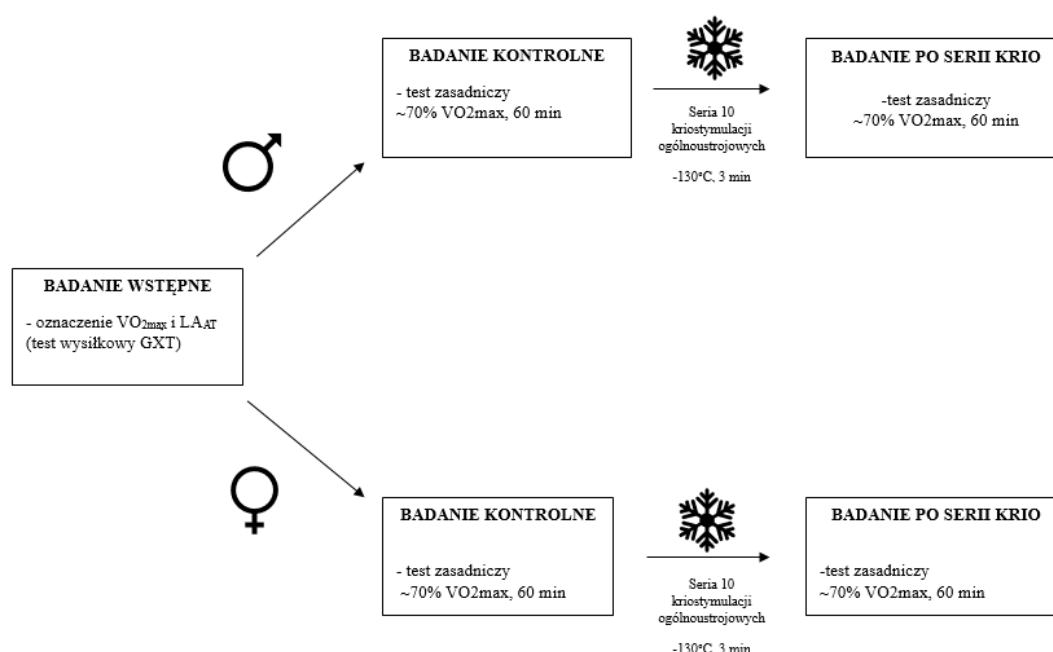
Przygotowując się do przeprowadzenia badań przyjęto następujące hipotezy badawcze:

1. Płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy somatyczne organizmu.
2. Płeć istotnie różnicuje cechy funkcjonalne w spoczynku po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych.
3. Płeć nie wpływa na różnice w oddziaływaniu serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na zmienne hematologiczne w spoczynku.
4. Płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na oceniane zmienne biochemiczne w spoczynku.
5. Płeć istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na stężenie ocenianych cytokin we krwi w spoczynku.
6. Płeć istotnie różnicuje cechy odpowiedzi organizmu na wysiłek fizyczny po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych.
7. Płeć badanych istotnie różnicuje wpływ serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na zmiany wybranych markerów biochemicznych we krwi w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu.

3. Materiał i metody

3.1 Charakterystyka badanej grupy

W badaniach wzięło udział 21 biegaczy narciarskich (13 mężczyzn i 8 kobiet). Byli to zawodnicy Kadry Narodowej, reprezentujący Akademicki Związek Sportowy AWF Katowice (mężczyźni: wiek $21,5 \pm 2$ lata, wysokość ciała $179,5 \pm 6$ cm, masa ciała 75 ± 5 kg, BMI $23,3 \pm 1,27$ kg/m², powierzchnia ciała (BSA) $1,93 \pm 0,1$ m², VO₂max $58,5 \pm 5$ ml/kg/min; kobiety: wiek 23 ± 4 lata, wysokość ciała $165,6 \pm 9$ cm, masa ciała $58,8 \pm 7$ kg, BMI $21,5 \pm 2$ kg/m², powierzchnia ciała (BSA) $1,64 \pm 0,1$ m², VO₂max $51,6 \pm 1,2$ ml/kg/min).



Rycina 1. Ogólny schemat procedury badawczej.

Legenda: VO₂max - maksymalny pobór tlenu, LA_{LT} - próg mleczanowy, test GXT - wysiłek o stopniowo narastającej intensywności, wykonywany aż do odmowy, test zasadniczy - godzinny wysiłek o stałym obciążeniu odpowiadającemu ~70% VO₂max.

Ogólny schemat badań przedstawiony został na rycinie 1. Przed rozpoczęciem doświadczenia uczestnicy zostali poddani badaniom wstępnym, w których: oceniano cechy somatyczne, wyznaczano pułap tlenowy (VO₂max) oraz wyznaczano indywidualnie dla

każdego badanego względne obciążenie wysiłkowe wyrażone $\%VO_{2max}$, stosowane w zasadniczym wysiłku testowym. Wysiłek testowy 60-minutowy-test biegowy o stałym ustalonym obciążeniu, badani wykonywali w warunkach termoneutralnych otoczenia (temp. 21–23°C, wilgotność względna 50%) dwukrotnie: przed (badanie C) i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych (KRIO). W trakcie trwania doświadczenia zawodnicy stosowali ustaloną dietę, której skład i kaloryczność pozostawały niezmienione przez cały okres eksperymentu. Badania wykonano w ramach realizacji projektu badawczego nr 0050/RS4/2016/54 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Rozwój Sportu Akademickiego”, którego szczegółowy program i plan badań został zaakceptowany przez Komisję Bioetyczną ds. badań Naukowych przy Akademii Wychowania Fizycznego im. J. Kukuczki w Katowicach, Uchwała nr 2/2016. Uczestnicy zostali poinformowani o celu badań, stosowanej metodyce i możliwości rezygnacji z udziału w eksperymencie w dowolnym momencie oraz wyrazili pisemną zgodę na udział w badaniach.

3.2 Badania wstępne

Cechy somatyczne takie jak: masa (BM) i skład ciała (FM- masa tkanki tłuszczowej, FFM-beztłuszczowa masa ciała, TBW- całkowita zawartość wody w organizmie oceniano metodą bioimpedencji elektrycznej (Inbody 220, Korea). Wysokość ciała oceniano z wykorzystaniem wagi medycznej oraz wzrostomierza Chader. W badaniu wstępnym, przed rozpoczęciem doświadczenia, uczestnicy wykonali wysiłek o stopniowo narastającej intensywności do odmowy na bieżni mechanicznej (typ COSMED) -w celu oznaczenia pułapu tlenowego i wyznaczenia progu mleczanowego). Wysiłek rozpoczynali od prędkości 6 km/h, a następnie prędkość biegu zwiększano, co 3 minuty o 2 km/h do prędkości biegu 12 km/h w grupie kobiet i 14 km/h w grupie mężczyzn, a następnie kolejne obciążenia zwiększano co 3 minuty przez zmianę kąta nachylenia bieżni (o 2,5%). Podczas testu rejestrowano częstość skurczów serca (HR), pobór tlenu (VO_2) i stężenie mleczanu (LA). HR monitorowano za pomocą sport-testera (Polar M400-Finlandia). Pobór tlenu oceniano za pomocą analizatora gazowego (Cortex Metamax, Niemcy). Przed wysiłkiem i w ostatniej minucie każdego obciążenia oraz po 3 minutach restytucji pobierano z opuszka palca próbki krwi kapilaryzowanej, w których oznaczano stężenia mleczanu we krwi (Boehringer, Mannheim, Niemcy). Na podstawie stężeń LA we krwi, metodą D-max (Cheng i wsp. 1992) wyznaczano indywidualny próg mleczanowy (LA_{LT}). Odpowiadające LA_{LT}

wartości HR w wysiłku wstępnym posłużyły do ustalenia obciążeń pracą, które zastosowano podczas właściwego wysiłku testowego w badaniach zasadniczych.

3.3 Badania zasadnicze

Wysiłek testowy (jednogodzinny wysiłek) o stałym, ustalonym względnym obciążeniu pracą odpowiadającym ~70% VO_2max) stosowano dwukrotnie, przed i po serii kriostymulacji ogólnoustrojowej w godzinach rannych, w warunkach termoneutralnych otoczenia (temp. 21–23°C, wilgotność względna 50%). Wszystkie testy wysiłkowe wykonano na bieżni ruchomej (Cosmed, Niemcy) w Pracowni Badań Czynnościowych Człowieka Akademii Wychowania Fizycznego w Katowicach. W spoczynku, w trakcie wykonywania wysiłku co 10 minut rejestrowano: pobór tlenu (VO_2), współczynnik wymiany oddechowej (RER) oraz częstość skurczów serca (HR) (Polar M400, Finlandia). Ponadto w spoczynku i w ostatnich minutach wysiłku mierzono temperaturę wewnętrzną ciała (T_{wew}) i temperaturę skóry (T_{sk}) na ramieniu, klatce piersiowej i udzie (termometr medyczny, Ellab, E-val-Flex model 1.38, Dania). Przed testem i bezpośrednio po jego zakończeniu, w pozycji siedzącej mierzono ciśnienie tętnicze krwi (SBP, DBP) (Omron, Japonia). Wyliczano: średnie ciśnienie tętnicze krwi (MAP) oraz metodą kalorymetrii pośredniej: tempo procesów metabolicznych (RMR) (*Nishi, 1981*), średnią ważoną temperaturę skóry (T_{SK}) (*Burton, 1935*) oraz powierzchnię ciała (BSA) (*DuBois, 1916*).

$$\text{RMR} = \frac{\left[\text{VO}_2 * \left[\frac{\text{RER} - 0,7}{0,3} * 21,13 \text{ kJ} \right] + \left[\frac{1,0 - \text{RER}}{0,3} * 19,62 \text{ kJ} \right] \right]}{60 * \text{BSA}} * 1000$$

Legenda: VO_2 -minutowy pobór tlenu [l/min], RER- współczynnik wymiany oddechowej, BSA - powierzchnia ciała [m^2].

3.4 Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych

Po 24 godzinach od zakońzonego wysiłku zasadniczego badani poddani zostali działaniu serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych (KRIO) w Górnośląskim Centrum Medycyny i Rehabilitacji (GCMR) w Katowicach. Zabiegi odbywały się raz dziennie w godzinach popołudniowych w dni robocze. Badani przez 3 minuty przebywali

w kriokomorze (CR-20 model W, komora kriogeniczna), w której temperatura wynosiła -130°C. Każdy zabieg był poprzedzony 30-sekundowym pobytem w przedsionku w temperaturze -60°C, w celu adaptacji do skrajnie niskiej temperatury. Po zakończonej dziesiątej serii kriostymulacji ogólnoustrojowej, w kolejnym dniu w godzinach rannych badani wykonali analogiczny test wysiłkowy jak w badaniu kontrolnym. Sposób postępowania, dokonywane pomiary i zadane obciążenia wysiłkowe były identyczne w próbie kontrolnej oraz po serii zabiegów KRIO, co umożliwiło określenie różnic w odpowiedzi organizmu na zadany wysiłek przed i po serii KRIO w grupach badanych. Kryterium wyłączenia z badań było występowanie co najmniej jednego z przeciwwskazań do stosowania kriostymulacji ogólnoustrojowej: nietolerancja zimna, choroba Raynauda, niedoczynność tarczycy, ostre schorzenia układu oddechowego, choroby układu sercowo-naczyniowego, zmiany skórne, neuropatie współczulnego układu nerwowego, klaustrofobia (*Stanek i wsp. 2012; Banfi i wsp. 2010*), a także zaburzenia cyklu menstruacyjnego u kobiet. Kryterium włączenia do badań było członkostwo w Narodowej Reprezentacji biegaczy narciarskich, wiek badanych (powyżej 18 roku życia), staż treningowy powyżej 7 lat oraz dobrowolna zgoda na udział w badaniach.

3.5 Materiał biologiczny

Podczas prowadzenia badań pobierano badanym próbki krwi do oznaczeń. Czterokrotnie pobierano krew z żyły odłokciowej: w spoczynku, po zakończonym wysiłku, po godzinie oraz w 24 godzinie restytucji, w każdej serii badawczej. Próbkę krwi po pobraniu zostały przeniesione do próbek Eppendorf i przetransportowane do laboratorium. Oznaczenia biochemiczne były wykonywane w: certyfikowanym laboratorium medycznym w Katowicach i Pracowni Biochemii AWF Katowice. Materiał biologiczny posłużył do oznaczeń morfologii krwi: liczba białych krwinek (WBC), liczba czerwonych krwinek (RBC), stężenie hemoglobiny (HGB) oraz wskaźnik hematokrytowy (HCT). Oznaczenia biochemiczne pobranego materiału obejmowały ocenę: - stężenia produktów peroksydacji lipidów błonowych (MDA) w osoczu krwi metodą Buege'a i Austa; - aktywności kinazy kreatynowej (CK, E.C.2.7.3.2) w osoczu krwi metodą spektrofotometryczną przy użyciu zestawu diagnostycznego Randox (UK, nr kat. CK522), zakres referencyjny (K:24-170 U/l, M: 24-195 U/l); - aktywności dehydrogenazy mleczanowej (LDH, E.C.1.1.1.27) metodą spektrofotometryczną w osoczu krwi z wykorzystaniem zestawu Randox (UK, nr kat. LD401),

zakres referencyjny(120-240 U/l); -stężenia czynnika martwicy nowotworów (TNF- α) w surowicy krwi metodą immunoenzymatyczną przy użyciu zestawu diagnostycznego (RAF128R) BioVendor(Czechy), zakres referencyjny (do 16,0 pg/ml); - stężenia interleukiny 6 (IL-6) w surowicy krwi metodą immunoenzymatyczną przy użyciu zestawu diagnostycznego (RD194015200R), zakres referencyjny (do 10 pg/ml); - stężenia białka CRP w surowicy krwi metodą spektrofotometryczną przy użyciu zestawu diagnostycznego CRP-Turbilatex (MD1107101) firmy Spinreact (Hiszpania), zakres referencyjny (1,0-5,0 mg/l). Zmienne biochemiczne oznaczane we krwi po wysiłku skorygowano uwzględniając zmianę objętości osocza (*Pilch i wsp. 2013*).

3.6 Metody analizy statystycznej

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej w programie Statistica 13.3 PL. W każdym przypadku dokonano weryfikacji normalności rozkładu badanych zmiennych za pomocą testu Shapiro-Wilka. W celu porównania analizowanych cech antropometrycznych oraz zmiennych mierzonych w spoczynku i średnich wartości wysiłkowych, gdy analizowane zmienne posiadały rozkład normalny zastosowano test t-Studenta dla prób zależnych i niezależnych. W przypadku, gdy analizowane zmienne nie posiadały rozkładu normalnego wykorzystano test U-Manna Whitneya oraz test kolejności par Wilcoxona. Wyniki o rozkładzie normalnym przedstawiono w postaci wartości średnich i odchyłeń standardowych ($M \pm SD$), natomiast te, które odbiegały od rozkładu normalnego, interpretowano w postaci mediany (Me) i odchyłeń kwartylowych (QD). Wpływ zastosowanej kriostymulacji ogólnoustrojowej na odpowiedź organizmu na wysiłek oraz różnice płciowe oceniano z wykorzystaniem jednoczynnikowej i wielkoczynnikowej analizy wariancji ANOVA z powtarzanymi pomiarami. Jako test post-hoc wykorzystano test Tukeya dla różnych N. Jednorodność wariancji i sferyczność oceniano za pomocą odpowiednio testu Levene'a i testu Mauchly'ego. Istotność różnic międzygrupowych określano testem U-Manna Whitneya, natomiast różnice wewnątrzgrupowe oceniano testem rang Wilcoxona z dobranymi parami oraz testem rang Friedmana. Przyjęto poziom istotności różnic $p < 0,05$.

4. Wyniki

Wyniki analizy cech somatycznych badanych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Cechy antropometryczne badanych.

		Mężczyźni	Kobiety
		(średnia ± odch.stand)	(średnia ± odch.stand)
Wysokość ciała [cm]	Przed KRIO	179,5 ± 5,68	165,60 ± 9,00 ^{&}
Wiek [lata]	Przed KRIO	21,5 ± 2,20	23,00 ± 4,30
Masa ciała [kg]	Przed KRIO	75,18 ± 5,77	58,88 ± 6,95 ^{&}
	Po KRIO	74,91 ± 5,89	59,06 ± 7,06 ^{&}
FM [%]	Przed KRIO	10,37 ± 2,14	16,56 ± 5,19 ^{&}
	Po KRIO	9,31 ± 2,60 [*]	16,40 ± 5,58 ^{&}
FM [kg]	Przed KRIO	7,78 ± 1,70	9,84 ± 3,54
	Po KRIO	6,94 ± 1,92 [*]	9,80 ± 3,74
FFM [kg]	Przed KRIO	67,4 ± 5,57	49,0 ± 5,6 ^{&}
	Po KRIO	67,9 ± 6,1	49,2 ± 5,6 ^{&}
TBW [l]	Przed KRIO	48,90 ± 4,44	35,78 ± 4,03 ^{&}
	Po KRIO	49,69 ± 4,48	35,94 ± 3,96 ^{&}
BSA [m ²]	Przed KRIO	1,93 ± 0,09	1,64 ± 0,13 ^{&}
	Po KRIO	1,93 ± 0,09	1,64 ± 0,13 ^{&}

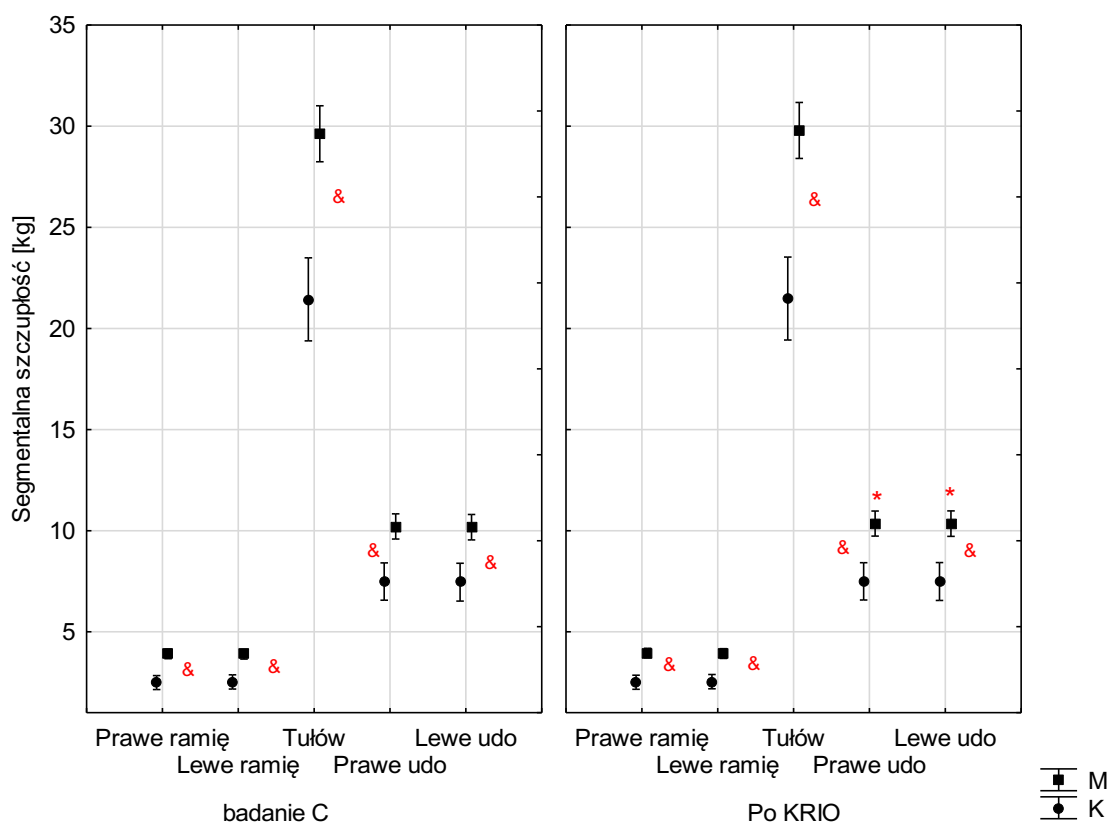
Legenda: FM- masa tkanki tłuszczowej, FFM- beztłuszczowa masa ciała, TBW-zawartość wody w organizmie, BSA-powierzchnia ciała. Wartości przedstawione są jako średnia ± odchylenie standardowe.

*-istotna różnica ($p < 0,05$) między wynikami „przed KRIO-po KRIO” w obrębie danej grupy.

&-istotna różnica ($p < 0,05$) między grupą badanych mężczyzn i kobiet.

Analiza statystyczna wykazała, że mężczyźni istotnie różnili się od kobiet wysokością ciała ($p=0,00$), masą ciała ($p=0,00$), procentową zawartością tkanki tłuszczowej ($p=0,00$), beztłuszczową masą ciała ($p=0,00$), zawartością wody w organizmie ($p=0,00$) oraz powierzchnią ciała ($p=0,00$) zarówno przed jak i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych (tab. 1). Nie wykazano różnic w bezwzględnej masie tkanki tłuszczowej (FM) między mężczyznami (M), a kobietami (K) przed (M 7,78 kg vs. K 9,84 kg) i po KRIO (M 6,94 kg vs. K 9,80 kg). W odniesieniu do analizowanych zmian somatycznych, po serii kriostymulacji ogólnoustrojowej zaobserwowano redukcję masy tkanki tłuszczowej u mężczyzn (-0,83 kg, $p=0,01$) i kobiet (-0,04 kg). Redukcja FM po serii 10 kriostymulacji

ogólnoustrojowych była istotnie większa u mężczyzn niż kobiet ($p=0,01$). Analizę segmentalnego rozmieszczenia beztłuszczowej masy ciała badanych przedstawiono na rycinie 2. Wykazano, że kobiety miały istotnie niższą niż mężczyźni ilość FFM w obrębie ramion (prawe $p=0,00$, lewe $p=0,00$), tułowia ($p=0,00$) i ud (prawe $p=0,00$, lewe $p=0,00$) zarówno przed jak i po KRIO. Po serii KRIO odnotowano u mężczyzn większą ilość beztłuszczowej masy ciała w prawym (+0,14 kg, $p=0,04$) i lewym udzie (+0,17 kg, $p=0,02$) w porównaniu do badania przed KRIO.



Rycina 2. Segmentalna szczupłość- rozmieszczenie beztłuszczowej masy ciała u badanych w badaniu przed (badanie C) i po KRIO. Wartości przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

*-istotna różnica ($p < 0,05$) między wartościami „przed KRIO-po KRIO” w obrębie danej grupy.

&-istotna różnica ($p < 0,05$) między grupą badanych mężczyzn i kobiet.

Charakterystykę zmiennych ocenianych podczas testu wstępnego przedstawiono w tabeli 2. Oceniane cechy nie różniły się istotnie między płciami, za wyjątkiem maksymalnego poboru tlenu (VO_{2max}), maksymalnej mocy (W), poboru tlenu na progu LT (VO_{2LT}), które były istotnie większe w grupie mężczyzn (tab. 2).

Tabela 2. Test wysiłkowy wstępny- oceniane wskaźniki.

	Mężczyźni	Kobiety
VO _{2max} [ml/kg/min]	4,56± 0,49	3,03 ± 0,34 ^{&}
%VO _{2max}	70,6 ± 10,9	72,4 ± 5,98
HR _{max} [ud/min]	191,50 ± 12,8	195,8 ± 6,45
W _{max} [W]	407,0 ± 63,79	260,71 ± 63,7 ^{&}
TT [min]	29,44 ± 2,71	25,34 ± 3,14
V _{LT} [km/h]	14,00 ± 0,3	12,00 ± 0,00
G [%]	2,13 ± 0,52	1,90 ± 0,54
HR _{LT} [ud/min]	179,80 ± 9,27	179,00 ± 7,42
VO _{2LT} [l/min]	3,04 ± 0,37	2,12 ± 0,45 ^{&}

Legenda: TT-czas trwania testu do odmowy, V_{LT}-prędkość na progu, G%- nachylenie bieżni na progu, HR_{LT}-częstość skurczów serca na progu, HR_{max}- najwyższa częstość skurczów serca, Vo_{2max}- maksymalny pobór tlenu, W_{max}- maksymalna moc, VO_{2LT} – pobór tlenu na progu. Wartości przedstawione są jako średnia ± odchylenie standardowe.

&-istotna różnica (p<0,05) między grupą badanych mężczyzn i kobiet.

Bezwzględna średnia moc zastosowana w teście zasadniczym była istotnie wyższa u badanych mężczyzn niż kobiet zarówno przed (p=0,00) jak i po zastosowanej serii KRIO(p=0,00) jednak wyrażona jako %VO_{2max} nie różniła się istotnie w zastosowanych seriach badań u mężczyzn i kobiet (tab. 2). W oparciu o ocenę częstości skurczów serca (HR) oraz poboru tlenu (VO₂) podczas wysiłku zasadniczego określono stan równowagi czynnościowej (steady state) w obu seriach badań. Po kriostymulacji ogólnoustrojowej w obu grupach czas osiągnięcia plateau wydłużył się, u mężczyzn o (M: +6 min; p= 0,05 vs. K: 6 min; p>0,05). Po serii 10 KRIO względne obciążenie wyrażone jako %VO_{2max} było nieznacznie wyższe u obu płci (M: +3% i K: +3%) (p>0,05).

4.1 Wybrane zmienne fizjologiczne w spoczynku i odpowiedzi na wysiłek fizyczny przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych

Średnie wartości analizowanych zmiennych fizjologicznych ocenianych w spoczynku tj. pobór tlenu (VO₂), tempo procesów metabolicznych (RMR), częstość skurczów serca (HR), średnie ciśnienie tętnicze (MAP), temperatura wewnętrzna (T_{wew}), średnia ważona temperatura skóry (T_{SK}) u mężczyzn i kobiet w badaniu kontrolnym (C) i po serii 10 KRIO przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zmienne fizjologiczne oceniane w spoczynku przed i po serii 10 KRIO u mężczyzn i kobiet.

Zmienna		Mężczyźni (średnia $\pm$ odch. stand)	Kobiety (średnia $\pm$ odch. stand)
VO ₂ [ml/kg/min]	Przed KRIO	10,09 $\pm$ 1,51	9,30 $\pm$ 2,50
	PO KRIO	9,82 $\pm$ 1,60	8,40 $\pm$ 2,70
RMR [W/m ²]	Przed KRIO	107,20 $\pm$ 18,53	95,02 $\pm$ 3,41
	PO KRIO	112,62 $\pm$ 15,07	96,02 $\pm$ 23,64 ^{&}
HR [ud/min]	Przed KRIO	86,54 $\pm$ 13,53	90,00 $\pm$ 7,31
	PO KRIO	83,00 $\pm$ 12,50	84,80 $\pm$ 8,28
MAP [mmHg]	Przed KRIO	94,76 $\pm$ 8,05	89,55 $\pm$ 4,43
	PO KRIO	96,06 $\pm$ 9,34	87,15 $\pm$ 6,28
T _{wew} [°C]	Przed KRIO	36,72 $\pm$ 0,31	36,52 $\pm$ 0,25
	PO KRIO	36,49 $\pm$ 0,25	36,40 $\pm$ 0,29
T _{sk} [°C]	Przed KRIO	31,62 $\pm$ 0,23	31,05 $\pm$ 0,49 ^{&}
	PO KRIO	32,52 $\pm$ 0,45 [*]	32,20 $\pm$ 0,42 [*]

Legenda: VO₂- pobór tlenu, RMR- tempo procesów metabolicznych, HR-częstość skurczów serca, MAP-średnie ciśnienie tętnicze, T_{wew}- temperatura wewnętrzna, T_{sk}-średnia ważona temperatura skóry. Wartości przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

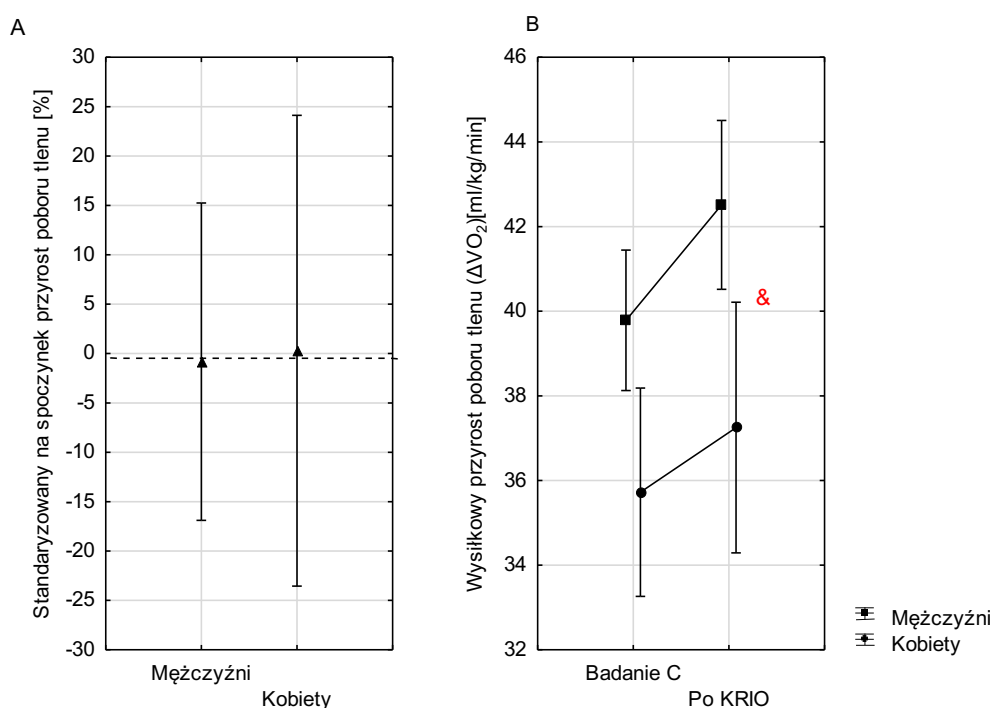
*-istotna różnica ($p < 0,05$) między wartościami „przed KRIO-po KRIO” w obrębie danej grupy.

&-istotna różnica ($p < 0,05$) między grupą badanych mężczyzn i kobiet.

W spoczynku w badaniu przed KRIO nie występowały istotne statystycznie różnice między mężczyznami, a kobietami w analizowanych zmiennych fizjologicznych za wyjątkiem średniej ważonej temperatury skóry, która była wyższa w grupie mężczyzn ($p=0,03$, tab.3) niż kobiet przed serią zabiegów KRIO. Po serii 10 KRIO odnotowano wzrost tempa procesów metabolicznych w spoczynku. Większy przyrost tej zmiennej w grupie mężczyzn spowodował wystąpienie istotnych różnic płciowych ($p=0,03$), czego nie zaobserwowano w badaniu kontrolnym.

4.1.1 Pobór tlenu (VO_2)

Pobór tlenu w spoczynku nie różnił się istotnie u mężczyzn i kobiet zarówno przed jak i po serii 10 KRIO (tab. 3). Zarówno płeć badanych jak i zastosowana kriostymulacja różnicowała przyrosty poboru tlenu (ΔVO_2) podczas wysiłku (płeć: $p=0,00$, $\eta^2=0,59$; KRIO: $p=0,07$, $\eta^2=0,20$). Przyrost poboru tlenu podczas wysiłku po serii 10 KRIO był istotnie wyższy u mężczyzn niż kobiet ($p=0,03$, rycina 3B).

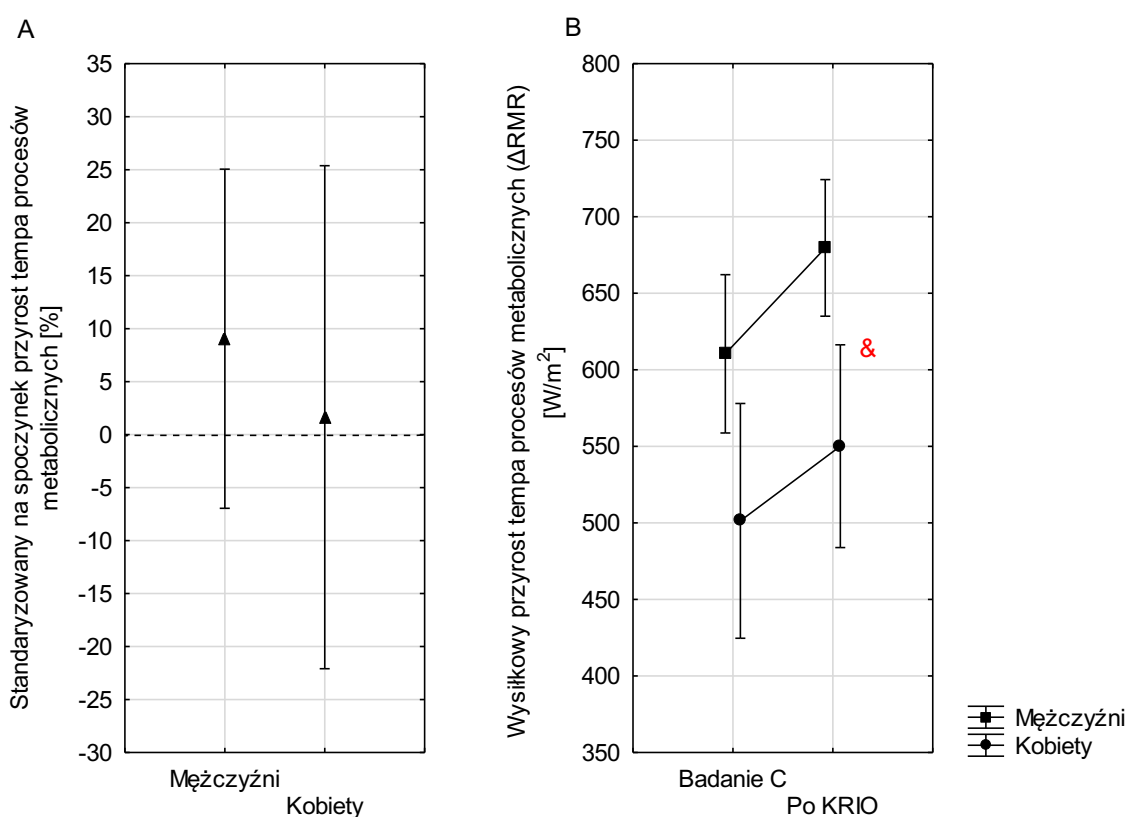


Rycina 3. Standaryzowany na wartości przed KRIO przyrost poboru tlenu (VO_2) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost poboru tlenu (ΔVO_2) w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

&- istotna różnica ($p<0,05$) między mężczyznami, a kobietami

4.1.2 Tempo procesów metabolicznych (RMR)

Tempo procesów metabolicznych w spoczynku nie różniło się istotnie między mężczyznami i kobietami (tab. 3). Po serii 10 KRIO odnotowano wzrost tempa procesów metabolicznych w spoczynku w obu grupach o (M: 9% vs. K: 1,5%, ryc.4A). Stwierdzono wyższe RMR po serii 10 KRIO w grupie mężczyzn w czasie równowagi czynnościowej ($p>0,05$). Zarówno płeć badanych ($p=0,00$, $\eta^2=0,51$), jak i kriostymulacja ($p=0,03$, $\eta^2=0,27$) istotnie wpływały na wysiłkowy przyrost tempa procesów metabolicznych (ΔRMR). ΔRMR podczas wysiłku po KRIO był istotnie wyższy u mężczyzn niż u kobiet ($p=0,04$, ryc.4B).

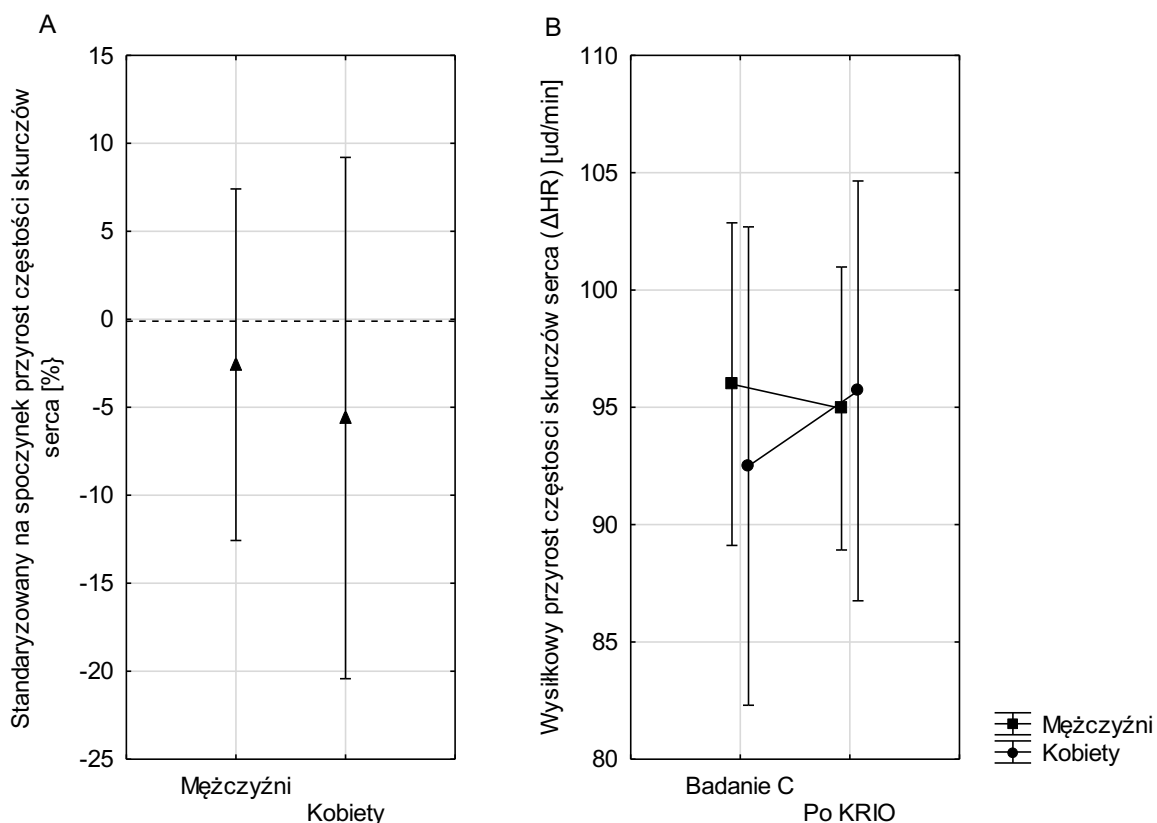


Rycina 4. Standaryzowany na wartości przed KRIO przyrost tempa procesów metabolicznych (RMR) po KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost tempa procesów metabolicznych w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

&- istotna różnica ($p<0,05$) między mężczyznami, a kobietami.

4.1.3 Częstość skurczów serca (HR)

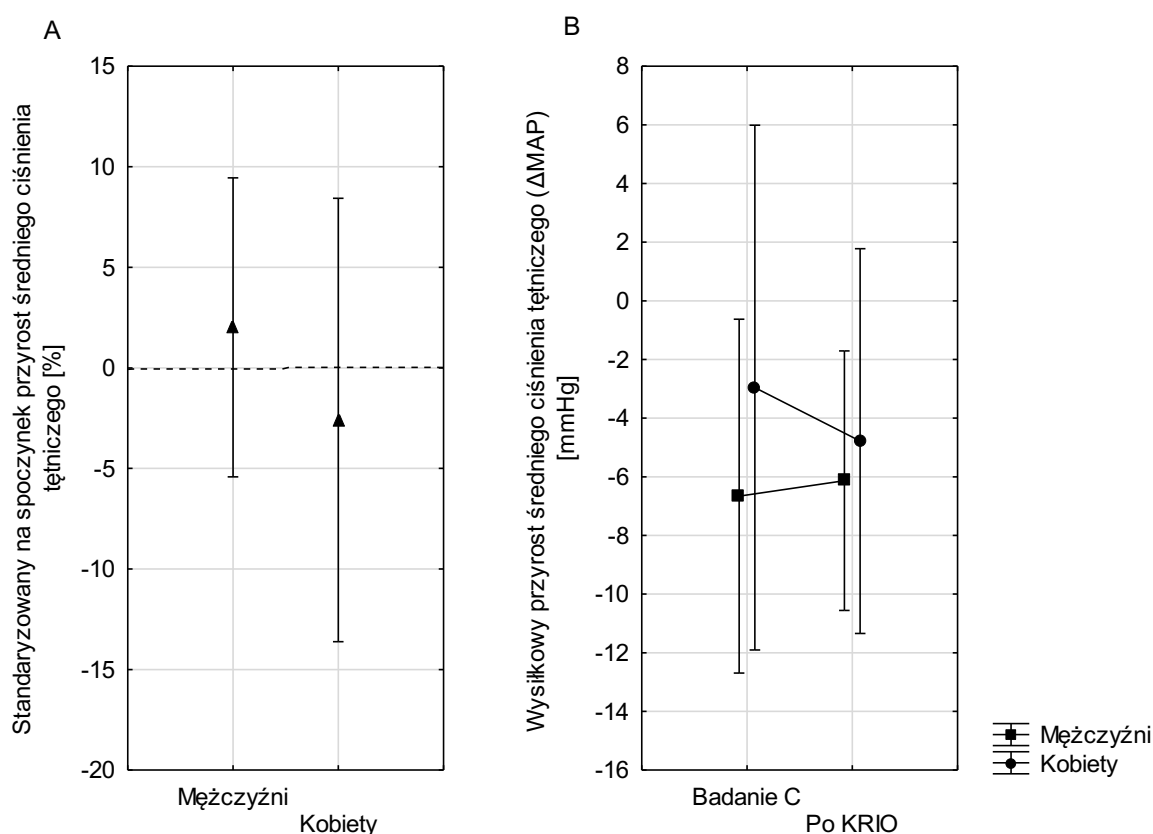
Spoczynkowe częstości skurczów serca były zbliżone i nie różniły się istotnie u obu płci (tab. 3). Po serii 10 KRIO odnotowano niewielkie obniżenie HR zarówno u mężczyzn (-3%), jak i u kobiet (-6%, ryc.5A). Ani płeć badanych ani zastosowanie serii 10 KRIO nie wpłynęły istotnie na wysiłkowe przyrosty częstości skurczów serca (Δ HR) (tab. 5 B).



Rycina 5. Standardyzowany na wartości przed KRIO przyrost częstości skurczów serca (HR) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost częstości skurczów serca (Δ HR) w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

4.1.4 Średnie ciśnienie tętnicze (MAP)

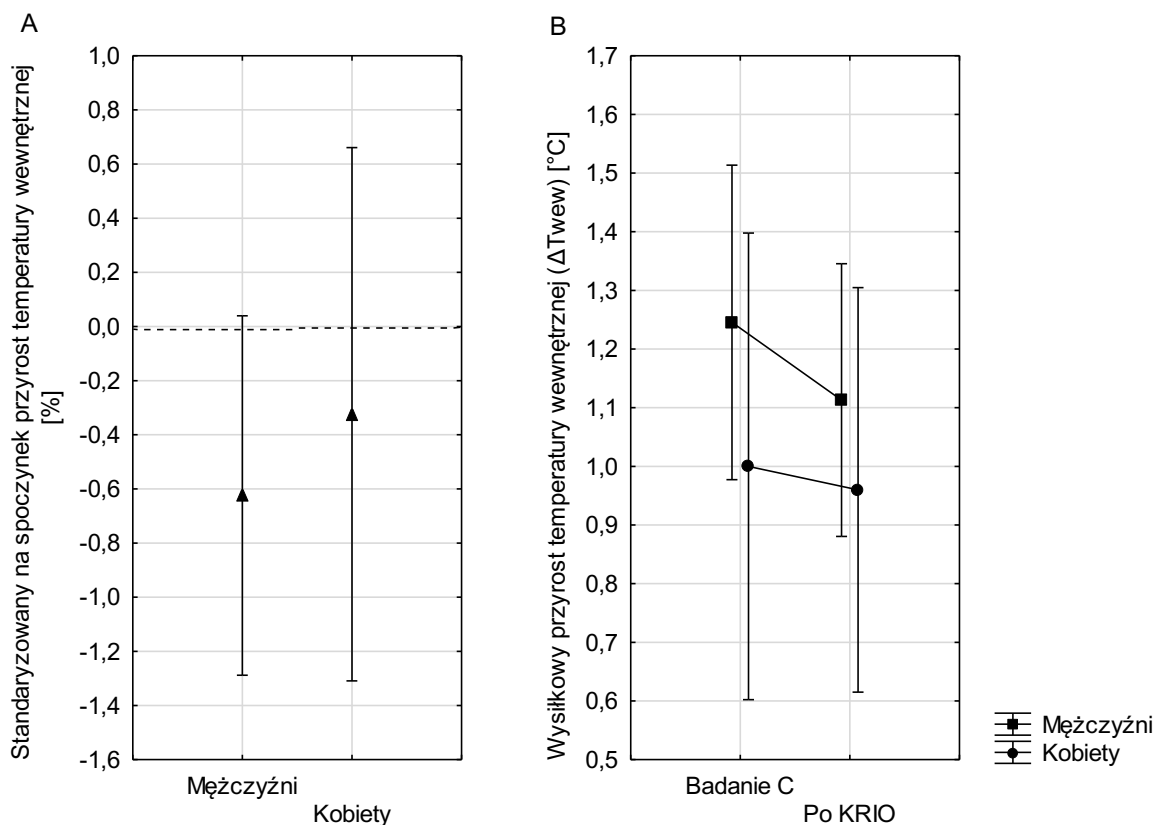
Średnie ciśnienie tętnicze mierzone w spoczynku mieściło się w granicach norm fizjologicznych, choć u mężczyzn osiągało wartości w górnym zakresie normy. MAP nie różniło się istotnie w spoczynku u mężczyzn i kobiet przed i po serii KRIO (tab. 3). Po serii 10 KRIO odnotowano u mężczyzn wyższe średnie ciśnienie tętnicze o (2%), a u kobiet niższe (-3%) (ryc.6A). Ani płeć badanych ani zastosowanie serii 10 KRIO nie wpłynęło istotnie na wysiłkowe przyrosty MAP (tab. 6 B).



Rycina 6. Standaryzowany na wartości przed KRIO przyrost średniego ciśnienia tętniczego (MAP) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost średniego ciśnienia tętniczego (Δ MAP) w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

4.1.5 Temperatura wewnętrzna (T_{wew})

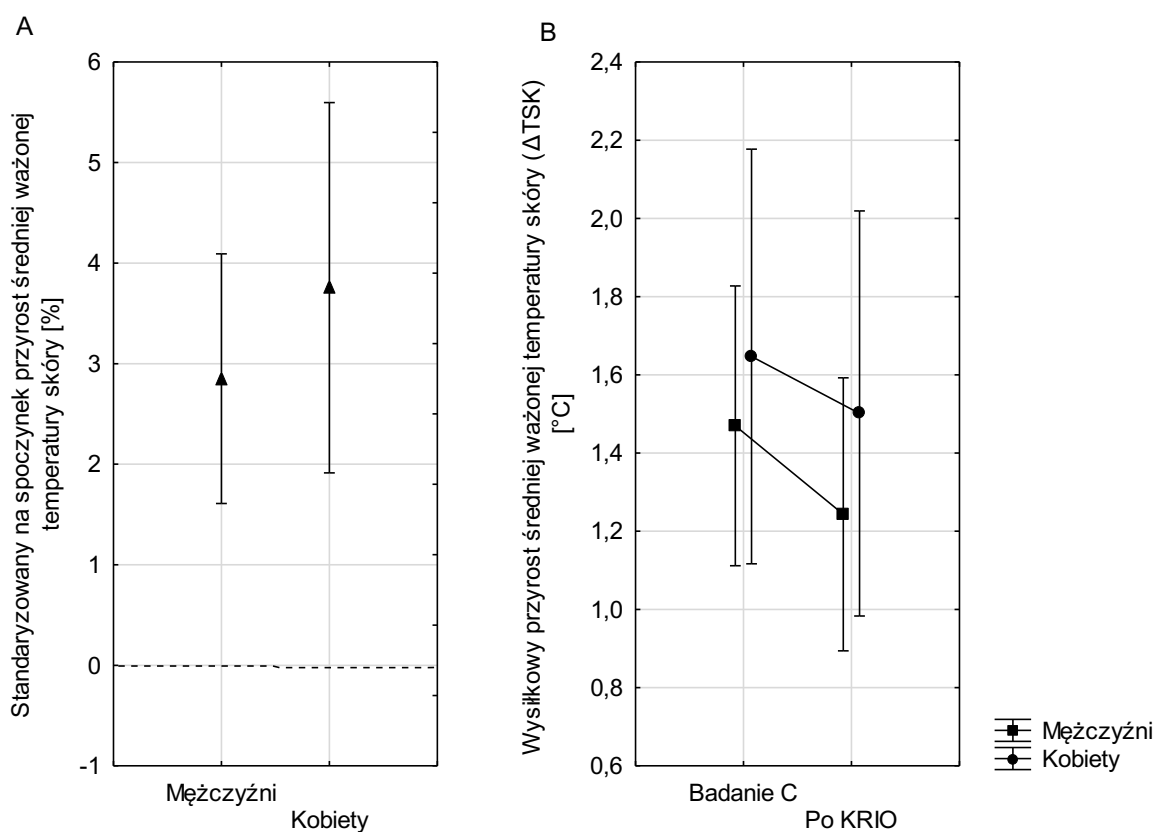
Temperatura wewnętrzna mierzona w spoczynku przed oraz po serii 10 KRIO nie różniła się istotnie między mężczyznami, a kobietami (tab. 3) (ryc. 7A). Ani płeć badanych, ani zastosowanie serii 10 KRIO nie wpłynęło istotnie na wysiłkowy przyrost temperatury wewnętrznej (ryc. 7 B).



Rycina 7. Standaryzowany na wartości przed KRIO przyrost temperatury wewnętrznej (T_{wew}) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost temperatury wewnętrznej (ΔT_{wew}) w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

4.1.6 Średnia ważona temperatura skóry (T_{SK})

W spoczynku przed serią 10 KRIO średnia ważona temperatura skóry osób badanych była wyższa u mężczyzn niż u kobiet ($p=0,00$, tab 3). Po serii 10 KRIO odnotowano wzrost T_{SK} w spoczynku u mężczyzn i kobiet o (M: 2,7% vs. K: 3,8 %, ryc. 8A), i nie odnotowano już istotnych różnic T_{SK} pomiędzy grupą mężczyzn i kobiet. Ani płeć badanych ani seria 10 KRIO nie wpłynęły istotnie na wysiłkowe przyrosty T_{SK} (ryc. 8 B).



Rycina 8. Standaryzowany na wartości przed KRIO przyrost średniej ważonej temperatury skóry (T_{SK}) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost średniej temperatury skóry (ΔT_{SK}) w badaniu przed (C) i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe.

4.2 Wybrane markery biochemicznych w spoczynku, odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych

Wybrane zmienne biochemiczne tj. aktywność kinazy kreatynowej (CK), aktywność dehydrogenazy mleczanowej (LDH) oraz stężenie dialdehydu malonowego (MDA) oceniane w spoczynku przed i po serii 10 KRIO przedstawiono w tabeli 4. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic między płciowych w spoczynkowej aktywności CK chociaż aktywność CK w spoczynku była niższa u kobiet niż u mężczyzn (tab.4). Po serii 10 KRIO odnotowano w spoczynku wyższe aktywności CK u obu płci. U kobiet [Δ CK] po serii 10 KRIO był istotnie mniejszy [5,39(5,4; 24,3) U/L] niż u mężczyzn [62,1(40,5; 21,9) U/L], $p=0,02$.

Aktywność LDH oraz stężenie MDA nie różniły się istotnie w spoczynku u mężczyzn i kobiet. Po serii 10 KRIO odnotowano niższe aktywności LDH oraz niższe stężenia MDA u obu płci. Redukcja stężenia MDA po serii 10 KRIO (Δ MDA) była większa u kobiet [-1,74(-1,85; -1,59) nmol/ml] niż u mężczyzn [-0,05(-1,85; 1,08) nmol/ml] ($p=0,04$) (tab. 4).

Tabela 4. Markery biochemiczne oceniane w spoczynku przed i po serii KRIO u mężczyzn i kobiet.

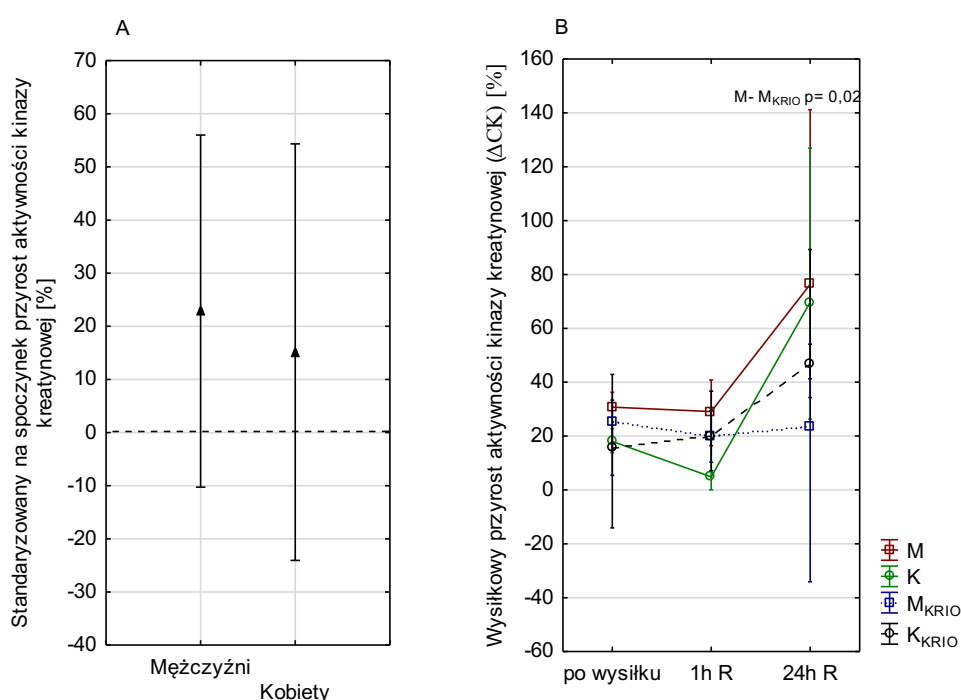
		Mężczyźni	Kobiety
		(Mediana i 25-75 percentyl)	(Mediana i 25-75 percentyl)
CK (U/l)	Przed KRIO	169,4(110; 188)	89,0(70,2; 102)
	Po KRIO	223,9(188; 380)*	113,3(75,5; 151,1)
LDH (U/l)	Przed KRIO	315,7(269; 345)	323,8(264; 348)
	Po KRIO	288,7(205; 375)	267,1(264,4; 304,8)
MDA (nmol/ml)	Przed KRIO	3,99(33,7; 5,34)	4,1(4,68; 5,09)
	Po KRIO	4,14(3,48; 4,38)	3,1(2,96; 3,43)*

Legenda: CK- aktywność kinazy kreatynowej, LDH—aktywność dehydrogenazy mleczanowej, MDA- stężenie dialdehydu malonowego. Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

*- istotna różnica ($p < 0,05$) między wartościami przed KRIO-po KRIO w badanej grupie.

4.2.1 Aktywność kinazy kreatynowej (CK)

W spoczynku przed wysiłkiem aktywność kinazy kreatynowej (CK) nie różniła się istotnie u badanych, choć była wyższa u mężczyzn (tab. 4). Po serii 10 KRIO aktywności CK były wyższe w obu grupach, a w grupie mężczyzn istotnie statystycznie (M: 22% vs. K 15%, $p=0,02$, ryc. 9A). Płeć badanych nie wpłynęła istotnie na wysiłkowe i powysiłkowe przyrosty aktywności CK. Stwierdzono jednak, iż aktywność kinazy kreatynowej była najwyższa w 24 godzinie restytucji istotnie jedynie u mężczyzn w badaniu C ($p=0,02$, ryc. 9 B). W obu grupach M i K aktywności CK przyjmowały niższe wartości w 24h restytucji po serii 10 KRIO ($p>0,05$).



Rycina 9. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost aktywności kinazy kreatynowej (CK) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost aktywności kinazy kreatynowej (ΔCK) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

K-wysiłek kontrolny kobiety

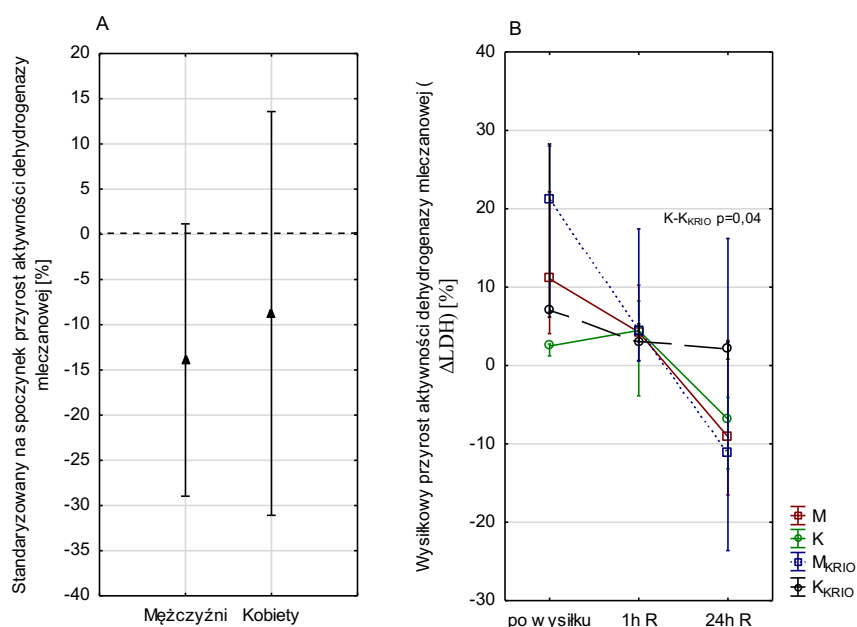
M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

M-M_{KRIO}- różnica u mężczyzn w teście kontrolnym w porównaniu do testu po KRIO

4.2.2 Aktywność dehydrogenazy mleczanowej (LDH)

Aktywność dehydrogenazy mleczanowej (LDH) w spoczynku nie różniła się istotnie u mężczyzn i kobiet zarówno przed jak i po serii KRIO (tab. 3). Po serii 10 KRIO odnotowano niższe aktywności LDH w spoczynku (M ok -13% vs. K -8%, ryc. 10) u obu płci (ryc. 10A). Aktywność LDH we krwi obniżała się w okresie restytucji, u obu płci, osiągając najniższe aktywności w 24h restytucji (ryc. 10 B). Płeć badanych nie różnicowała istotnie Δ LDH po 1h i 24 godzinach od zakończonego wysiłku, jednak po serii 10 KRIO w 24h restytucji w grupie kobiet stwierdzono istotnie wyższy przyrost aktywności dehydrogenazy mleczanowej ($p=0,04$, ryc. 10 B) w porównaniu do badania przed KRIO.



Rycina 10. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost aktywności dehydrogenazy mleczanowej (LDH) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost aktywności dehydrogenazy mleczanowej (Δ LDH) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B); Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

K-wysiłek kontrolny kobiety

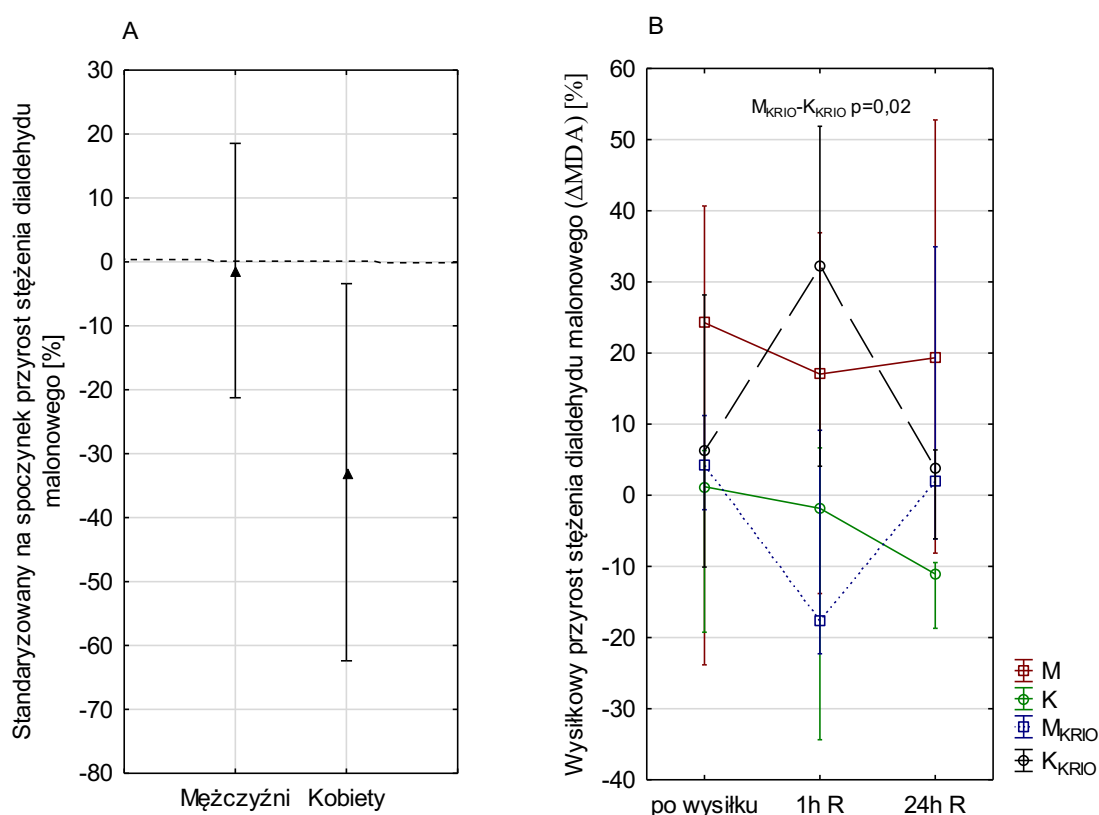
M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

K-K_{KRIO}- różnica u kobiet w teście kontrolnym w porównaniu do testu po KRIO

4.2.3 Stężenie dialdehydu malonowego (MDA)

Stężenie dialdehydu malonowego (MDA) w spoczynku przed i po KRIO było zbliżone u kobiet i mężczyzn ($p>0,05$) (tab. 3). Po serii 10 KRIO stężenie MDA obniżyło się u obu płci (M:-2% vs. K:-31%. Redukcja stężenia MDA w spoczynku po serii 10 KRIO była istotnie większa u kobiet niż mężczyzn ($p=0,02$). Wysiłkowe przyrosty stężenia MDA (Δ MDA) były zbliżone u obu płci, jakkolwiek w 1h restytucji powysiłkowej po serii 10 KRIO przyrost stężenia MDA był istotnie większy u kobiet niż u mężczyzn (M: -18% vs. K:31%, $p=0,02$, ryc. 11 B).



Rycina 11. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost stężenia dialdehydu malonowego (MDA) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost stężenia dialdehydu malonowego (Δ MDA) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

M_{KRIO}-K_{KRIO}-różnica między mężczyznami a kobietami w restytucji po serii 10 KRIO

4.3 Wybrane zmienne hematologiczne w spoczynku, odpowiedzi na wysilek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych

Zmienne hematologiczne oceniane w krwi badanych w spoczynku przedstawiono w tabeli 5. W obu seriach badań stwierdzono istotne różnice międzypłciowe w analizowanych zmiennych hematologicznych. Po serii kriostymulacji ogólnoustrojowej odnotowano istotnie mniejszą liczbę erytrocytów i niższe stężenie hemoglobiny w krwi w obu grupach. Po KRIO nie odnotowano istotnych różnic w ilości leukocytów u mężczyzn i kobiet (tab.5).

Tabela 5. Zmienne hematologiczne i krwinki białe oceniane w spoczynku przed i po serii KRIO u mężczyzn i kobiet.

		Mężczyźni	Kobiety
		(średnia ± odch. stand.)	(średnia ± odch. stand.)
WBC (tys/ul)	Przed KRIO	6,06 ± 1,12	7,69 ± 1,83 ^{&}
	Po KRIO	5,48 ± 0,89	5,99 ± 0,64
RBC (mln/ul)	Przed KRIO	5,24 ± 0,32	4,89 ± 0,16 ^{&}
	Po KRIO	5,09 ± 0,31 [*]	4,68 ± 0,23 ^{&*}
HB (g/dl)	Przed KRIO	16,15 ± 0,79	14,70 ± 0,10 ^{&}
	Po KRIO	15,62 ± 0,72 [*]	13,96 ± 0,49 ^{&*}
HCT (%)	Przed KRIO	44,28 ± 1,94	42,08 ± 0,27 ^{&}
	Po KRIO	43,77 ± 1,67	40,90 ± 1,43 ^{&}

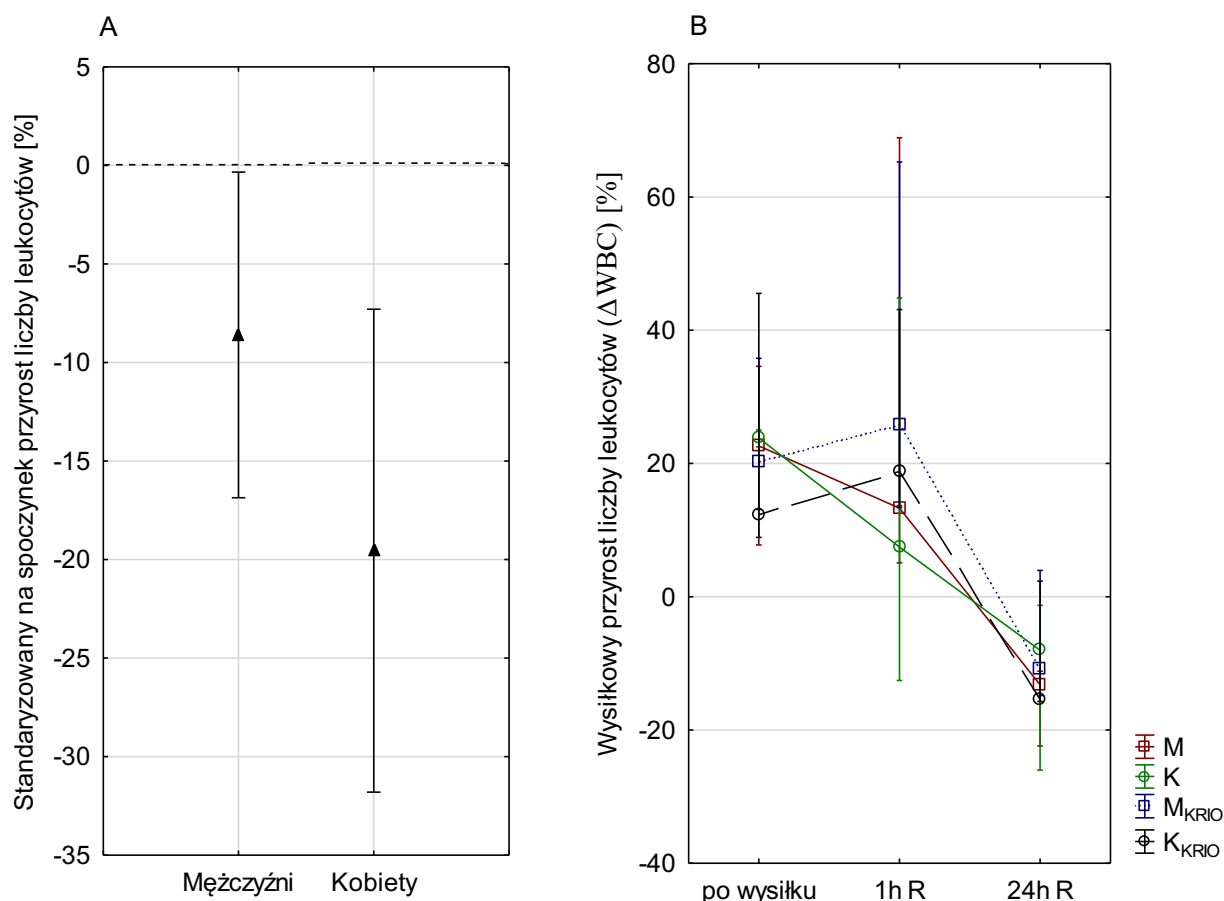
Legenda: WBC-liczba leukocytów, RBC-liczba erytrocytów, HB-hemoglobina, HCT-hematokryt. Wartości przedstawione są jako średnia ± odchylenie standardowe.

*-istotna różnica ($p < 0,05$) między wartościami przed KRIO-po KRIO.

&-istotna różnica ($p < 0,05$) między mężczyznami, a kobietami.

4.3.1 Liczba leukocytów (WBC)

Liczba leukocytów (WBC) w krwi różniła się istotnie między mężczyznami, a kobietami przed KRIO (tab. 4). Po serii 10 KRIO liczba WBC w spoczynku obniżyła się w obu grupach (M ok. -8% vs. K ok. -20%, ryc. 12A) ale nie różniła się istotnie u M i K ($p>0,05$). Płeć badanych nie różnicowała istotnie wysiłkowych przyrostów WBC w żadnej serii badań 12 B).



Rycina 12. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost liczby leukocytów (WBC) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost liczby leukocytów (Δ WBC) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

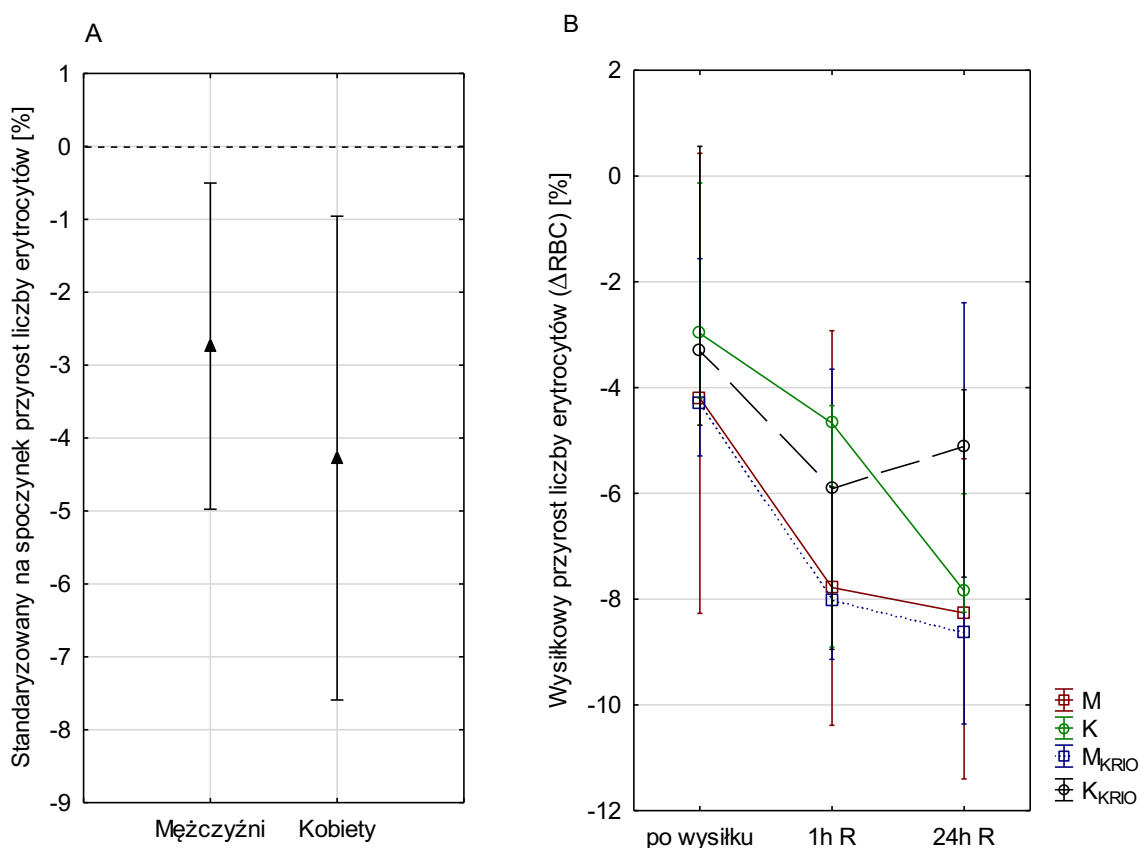
K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.3.2 Liczba erytrocytów (RBC)

Liczba erytrocytów (RBC) w krwi różniła się między mężczyznami i kobietami (tab. 5). Po serii 10 KRIO liczba RBC we krwi obniżyła się istotnie w obu grupach o (M -3% vs. K -4%, ryc. 13A, $p=0,03$). Ani płeć badanych, ani seria 10 kriostymulacji nie wpłynęła istotnie na wysiłkowe i powysiłkowe przyrosty RBC (ryc. 13 B).



Rycina 13. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost liczby erytrocytów (RBC) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost liczby erytrocytów we krwi (ΔRBC) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

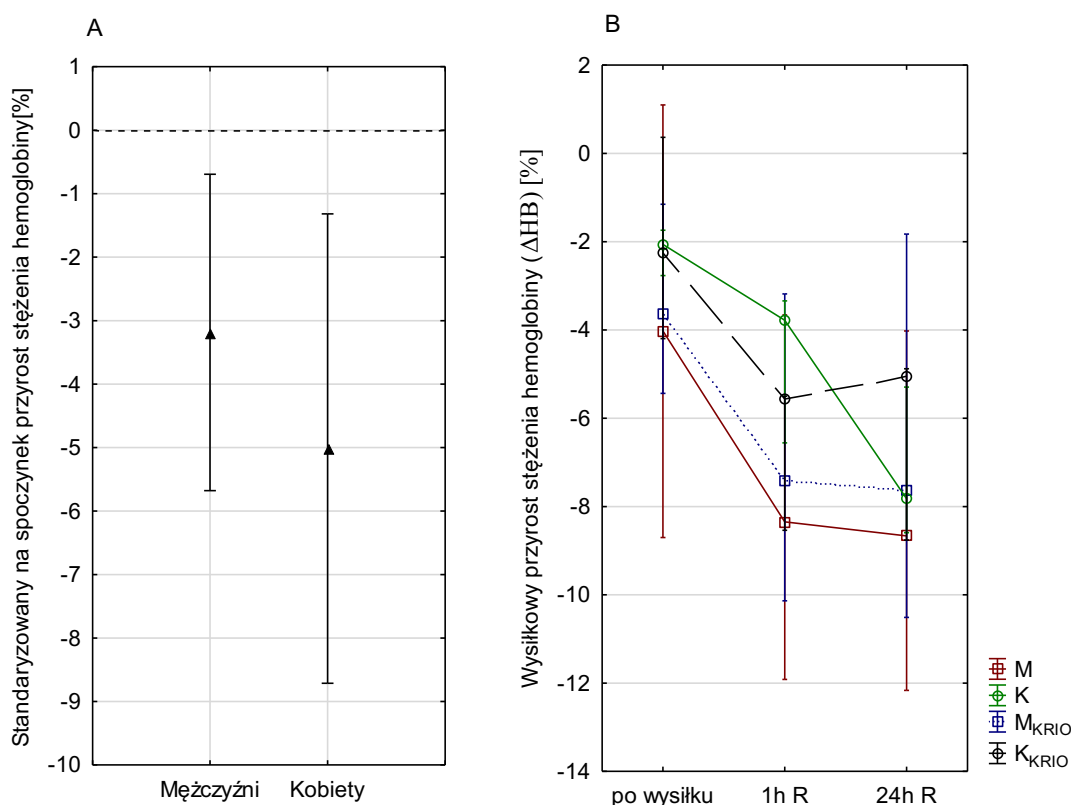
K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.3.3 Stężenie hemoglobiny (HB)

Zarówno przed jak i po KRIO stężenie hemoglobiny (HB) we krwi w spoczynku było istotnie wyższe u mężczyzn niż kobiet (tab. 5). Po serii 10 KRIO stężenie HB obniżyło się o (M. -3% vs. K. -5%, ryc. 14 A) u mężczyzn jak i kobiet. Ani płeć badanych, ani kriostymulacja nie wpłynęła istotnie na przyrost stężenia Δ HB w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i proces restytucji po serii 10 KRIO (ryc. 14 B).



Rycina 14. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost stężenia hemoglobiny (HB) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost stężenia hemoglobiny (Δ HB) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

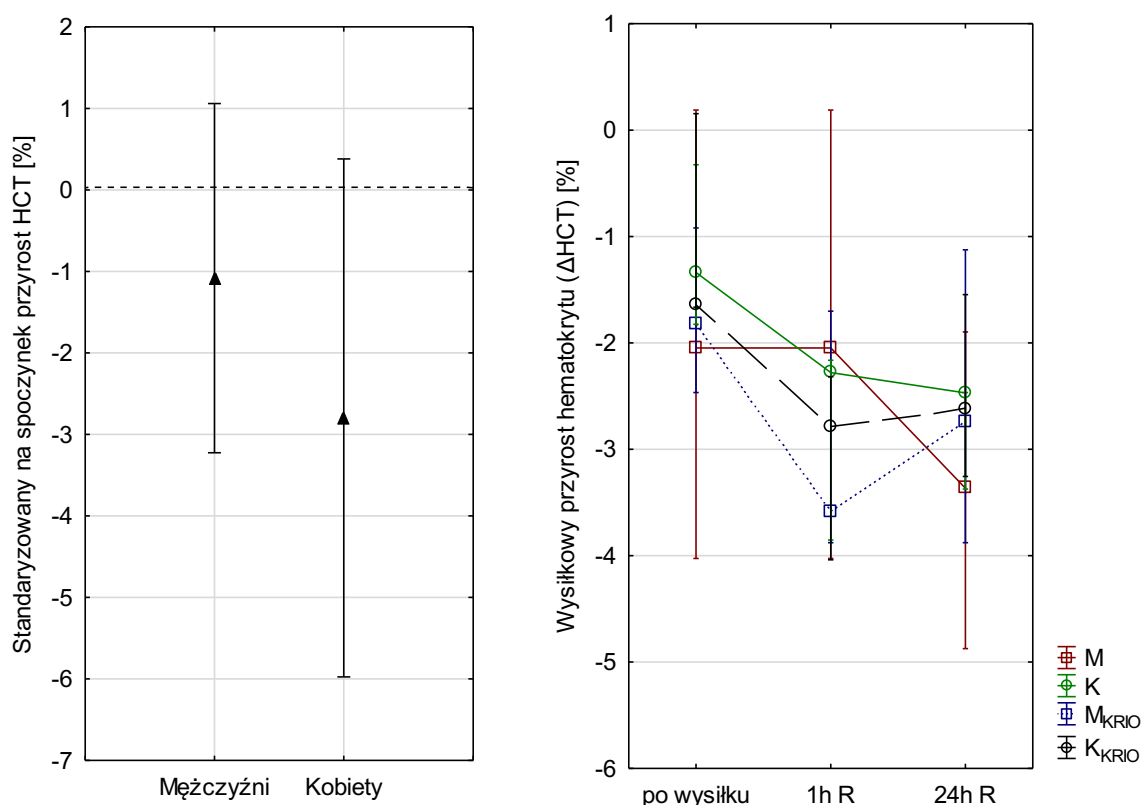
K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.3.4 Hematokryt (HCT)

W spoczynku hematokryt (HCT) był istotnie wyższy u mężczyzn niż u kobiet zarówno przed jak i po serii KRIO (tab. 5). Po serii 10 KRIO HCT obniżył się u mężczyzn i kobiet u obu płci o (M-1% vs. K -3%, ryc. 15A). Ani płeć badanych, ani kriostymulacja nie wpłynęła istotnie na przyrost stężenia Δ HCT w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i proces restytucji po serii 10 KRIO (ryc. 15 B).



Rycina 15. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost hematokrytu (HCT) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost wartości hematokrytu (Δ HCT) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wyniki przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.4 Wybrane markery zapalne w spoczynku, odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu przed i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych

Analizowane markery stanu zapalnego przedstawiono w tabeli 7. W spoczynku zarówno przed jak i po serii KRIO nie odnotowano istotnych statystycznie różnic międzypłciowych w ocenianych zmiennych.

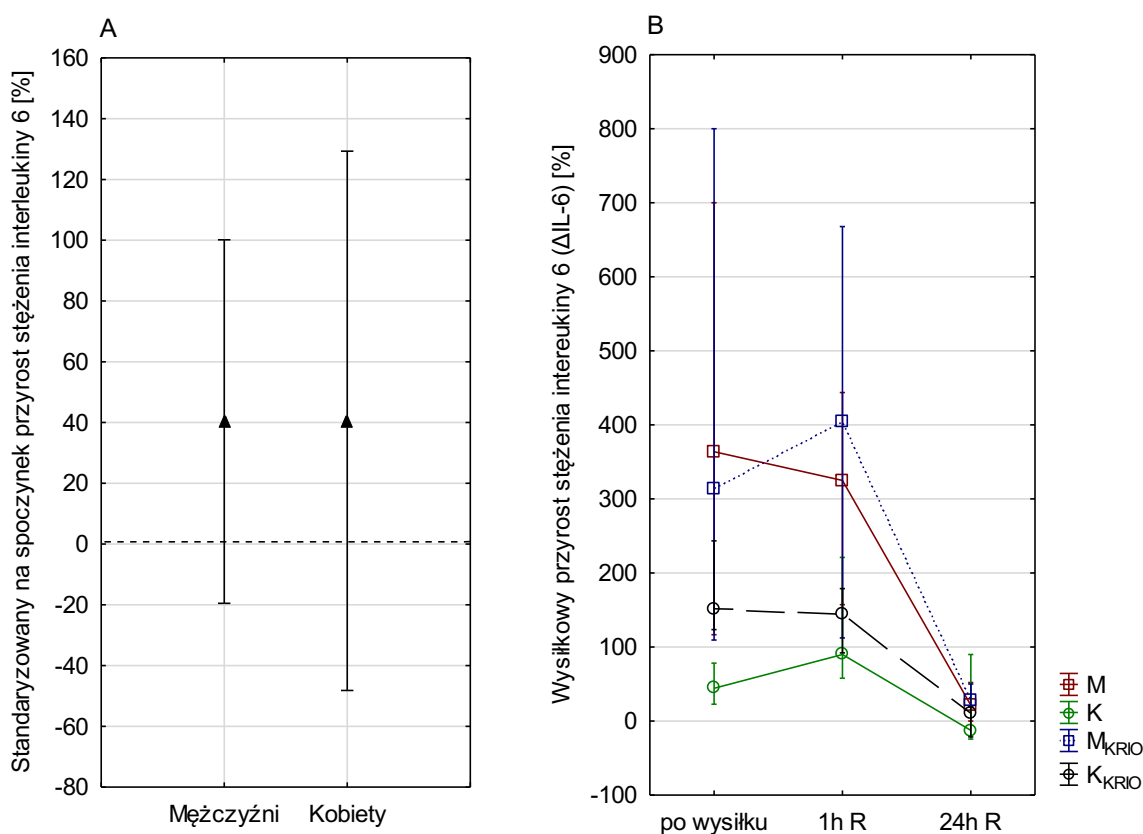
Tabela 6. Wybrane markery zapalne oceniane w spoczynku przed i po serii KRIO u mężczyzn i kobiet.

		Mężczyźni (mediana 25-75 percentyl)	Kobiety (mediana 25-75 percentyl)
IL-6 (pg/ml)	Przed KRIO	0,40 (0,25-0,57)	0,48 (0,40-0,57)
	Po KRIO	0,50 (0,38-0,67)	0,42 (0,38-0,58)
TNF-alfa (pg/ml)	Przed KRIO	18,08 (14,64-26,47)	21,24 (19,74-41,61)
	Po KRIO	21,46(16,67-27,90)	25,52 (23,91-45,69)
CRP (mg/l)	Przed KRIO	1,00 (1,00-1,00)	1 (1,00-1,00)
	Po KRIO	1,00 (1,00-1,00)	1,00 (1,00-1,00)

Legenda: IL-6- interleukina 6, TNF- α - czynnik martwicy nowotworów, CRP- białko C reaktywne. Wyniki przedstawiono jako mediana i 25-75 percentyl.

4.4.1 Stężenie interleukiny 6 (IL-6)

W spoczynku stężenie interleukiny 6 (IL-6) było wyższe u kobiet niż u mężczyzn (tab. 7). Po serii 10 KRIO odnotowano takie same zmiany stężenia IL-6 u obu płci (M: 40% vs. K: 40%, ryc. 16A). W odpowiedzi na wysiłek w obu grupach badanych notowano wzrost stężenia IL-6. Przyrost stężenia Δ IL-6 wywołany wysiłkiem oraz w okresie restytucji był zbliżony u kobiet i mężczyzn w obu seriach badań (ryc. 16 B).



Rycina 16. Standardyzowany na spoczynek przed KRIO przyrost stężenia interleukiny 6 (IL-6) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost stężenia interleukiny 6 we krwi (Δ IL-6) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wartości przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

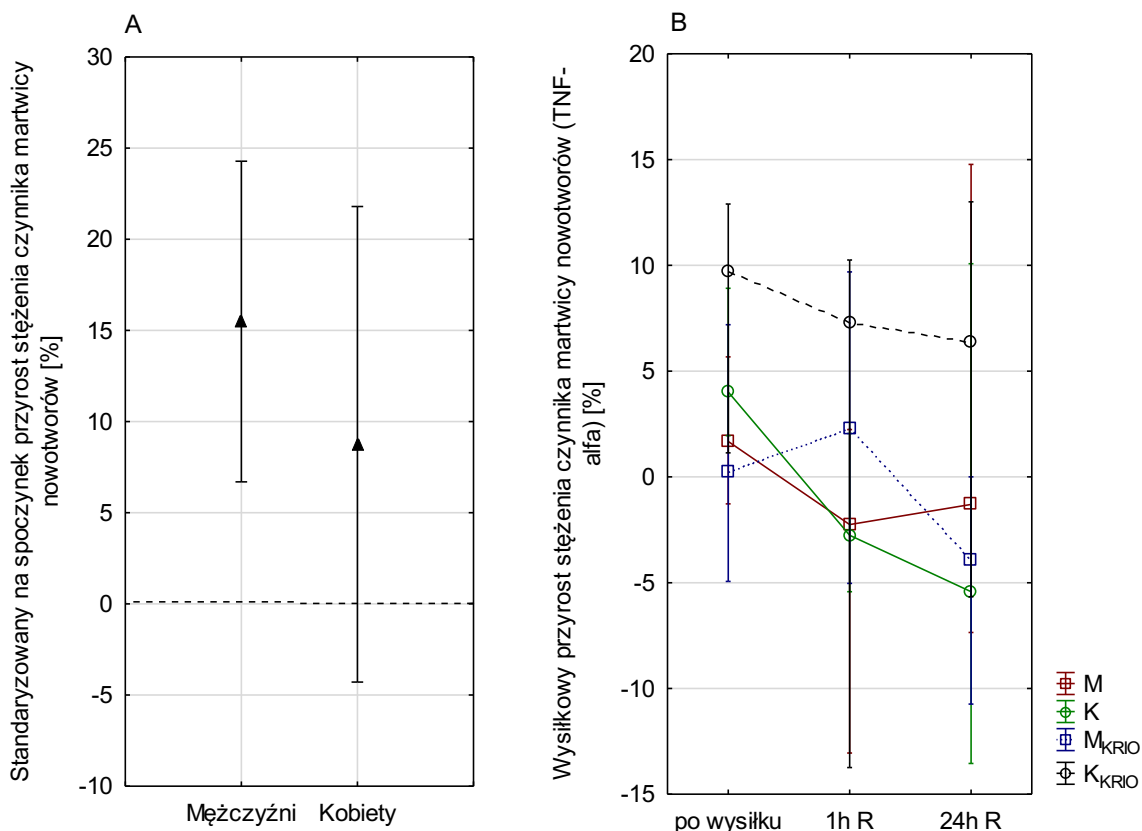
K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.4.2 Stężenie czynnika martwicy nowotworów (TNF- α)

W spoczynku stężenie czynnika martwicy nowotworów (TNF- α) nie różniło się istotnie u M i K (tab. 7). Po serii 10 KRIO odnotowano zbliżony wzrost stężenia TNF- α (M:15% vs. K: 8%, ryc. 17A). Ani płeć ani seria 10 KRIO, nie różnicowały istotnie przyrostu stężenia TNF- α w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu we krwi badanych (ryc. 17 B).



Rycina 17. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost stężenia czynnika martwicy nowotworów (TNF- α) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); wysiłkowy przyrost stężenia czynnika martwicy nowotworów we krwi (Δ TNF- α) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wartości przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

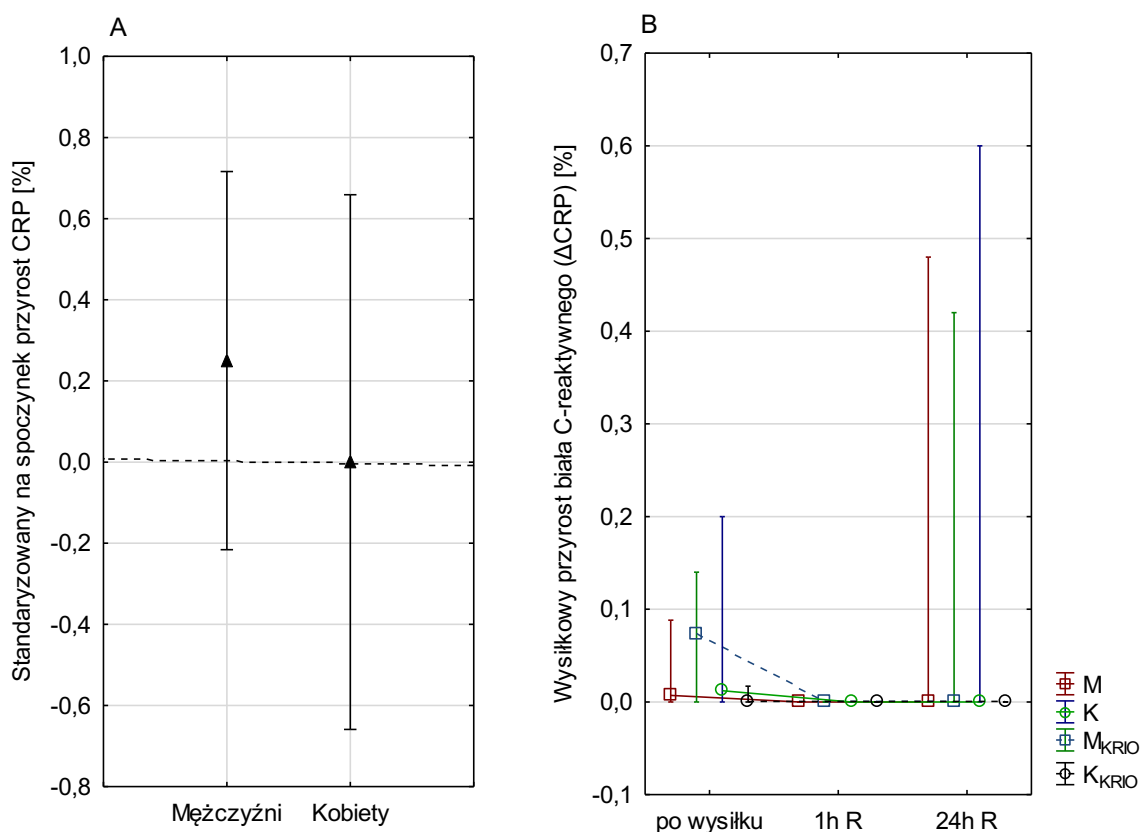
K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

4.4.3 Stężenie białka C-reaktywnego (CRP)

Stężenie białka C-reaktywnego (CRP) w spoczynku nie różniło się istotnie między mężczyznami, a kobietami (tab. 7). Po serii KRIO nie odnotowano zmian (ryc. 18 A) stężenie CRP w spoczynku. Wysiłek fizyczny, płeć badanych ani zastosowana terapia nie wpływały na stężenie CRP (ryc. 18 B).



Rycina 18. Standaryzowany na spoczynek przed KRIO przyrost białka C-reaktywnego (CRP) po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (A); powysiłkowy przyrost stężenie białka C-reaktywnego we krwi (Δ CRP) po wysiłku, po godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji przed i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet (B). Wartości przedstawione są jako mediana i 25-75 percentyl.

Legenda:

M-wysiłek kontrolny mężczyźni

K-wysiłek kontrolny kobiety

M_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO mężczyźni

K_{KRIO}- wysiłek po serii 10 KRIO kobiety

5. Dyskusja

Przeprowadzone badania były próbą porównania wpływu serii dziesięciu oddziaływań kriostymulacji ogólnoustrojowej na cechy somatyczne, funkcjonalne i wybrane zmienne biochemiczne w spoczynku oraz w odpowiedzi na wysiłek fizyczny u trenujących mężczyzn i kobiet. Ocenie poddano reakcje fizjologiczne, hematologiczne, zmiany wybranych markerów biochemicznych i markerów zapalnych w spoczynku, w odpowiedzi na wysiłek oraz w okresie restytucji i porównywano czy cechy tych odpowiedzi na zastosowanie serii 10 kriostymulacji są różne czy zbliżone u mężczyzn i kobiet. Wymiar oceny oddziaływania płci w badaniach naukowych jest problemem złożonym i stosunkowo rzadziej podejmowanym w badaniach naukowych, co czyni niniejszą pracę nowatorską w zakresie oceny różnic w efektywności oddziaływania serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowej na wyżej wskazane cechy u wysokiej klasy sportowców płci męskiej i żeńskiej.

5.1 Zmiany antropometryczne i fizjologiczne po kriostymulacji ogólnoustrojowej oceniane w spoczynku

Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że seria dziesięciu zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej wywołała istotne obniżenie zawartości tkanki tłuszczowej jedynie w grupie mężczyzn (-0,84 kg, czyli 1%), przy czym pozostałe zmienne dotyczące składu ciała badanych nie uległy istotnej zmianie. Brak istotnych zmian w składzie ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej stwierdzili Ziemann i wsp. (2012) oraz Pokora i wsp. (2023). Wskazani badacze nie odnotowali zmian w procentowej zawartości tkanki tłuszczowej u mężczyzn, profesjonalnych zawodników tenisa ziemnego po 5 seriach KRIO, stosowanych dwa razy dziennie w połączeniu z treningami o umiarkowanej intensywności ani u zawodników biegów narciarskich po serii 10 KRIO. Podobne wyniki badań przedstawiła Jaworska i współautorzy (*Jaworska i wsp. 2018*), którzy nie stwierdzili istotnych zmian w składzie ciała po 20 kriostymulacjach połączonych ze specjalistycznym treningiem siatkarskim. Podobnie jak w przeprowadzonych badaniach, większą redukcję procentowej zawartości tkanki tłuszczowej u mężczyzn, w porównaniu z kobietami po serii 20 KRIO, stwierdzili Pilch i współautorzy (*Pilch i wsp. 2020*). Jednak grupę badawczą stanowili mężczyźni o wskaźniku BMI w granicach normy oraz z otyłością, którzy nie podejmowali regularnej aktywności fizycznej. Panuje opinia, że kriostymulacja ogólnoustrojowa poprzez termogenezę oraz zwiększoną aktywność brunatnej

tkanki tłuszczowej (*Cannon i wsp. 2012*) może wspierać redukcję masy ciała. Warto jednak podkreślić, że osoby o większej zawartości tkanki tłuszczowej mogą w większym stopniu utrzymać stabilną temperaturę wewnętrzną i temperaturę skóry (*Young i wsp. 1996*). Dzieje się tak, ponieważ podskórna tkanka tłuszczowa zapewnia izolację termiczną i zmniejsza oddawanie ciepła do otoczenia w warunkach narażenia organizmu na działanie zimna (*Castellani i wsp. 2016*). Odnosząc się do różnic płciowych w indukowaniu zmian w składzie ciała, w niniejszej pracy (*Gallagher i wsp. 1996; Jackson i wsp. 2002; White i wsp. 2014*) można przypuszczać, że skuteczność kriostymulacji ogólnoustrojowej wpływająca na większą redukcję masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej jest większa u mężczyzn niż kobiet. Ekspozycji na zimno towarzyszy zwykle skurcz naczyń krwionośnych skóry, termogeneza bezdreszczowa i termogeneza dreszczowa, które mogą zwiększać tempo procesów metabolicznych (*Gordon i wsp. 2019*). Wyniki uzyskane w prezentowanej pracy nie wykazały istotnych zmian w tempie procesów metabolicznych po serii dziesięciu kriostymulacji ogólnoustrojowych w spoczynku. Podobnie wyniki przedstawiła Ziemann i współautorzy (*Ziemann i wsp. 2012*), którzy także nie stwierdzili istotnych zmian w spoczynkowym tempie metabolizmu oraz procentowym wykorzystaniu tłuszczu jako substratu metabolicznego u badanych po serii 10 KRIO. W literaturze spotyka się natomiast prace, w których stwierdzono wyższe tempo metabolizmu u badanych po działaniu zimnego powietrza trwające kilka godzin o temperaturze kilkunastu stopni Celsjusa (13-19°C) (*Daanen i wsp. 2016; Chan i wsp. 2016; Yoneshiro i wsp. 2013*). Ekspozycja na temperatury kriogenne wprawdzie nie przyczyniła się do zmian w tempie procesów metabolicznych w spoczynku, lecz po serii dziesięciu kriostymulacji ogólnoustrojowych odnotowano istotne różnice w przyroście tempa metabolizmu podczas wysiłku między mężczyznami, a kobietami (M: 72,00 W/m² vs. K: 50,00 W/m²). Wydaje się zatem, że kobiety wykazują mniej wyraźne niż mężczyźni zmiany metaboliczne po stresie zimna. Może być to spowodowane większym u kobiet obniżeniem poziomu leptyny i zmniejszonym przepływem krwi zwłaszcza w kończynach górnych i dolnych oraz tułowi po działaniu zimna w porównaniu z mężczyznami (*Mengel i wsp. 2020; Polidori i wsp. 2020*). Opracowane wyniki wskazują, że dziesięć trzuminutowych kriostymulacji ogólnoustrojowych (-130 °C) nie powoduje istotnych zmian w częstości skurczów serca (HR) oraz średnim ciśnieniu tętniczym (MAP) w spoczynku. W badaniach Louise i współautorów stwierdzono istotnie wyższe ciśnienie skurczowe i rozkurczowe oraz istotnie niższe częstości skurczów serca po pojedynczym zabiegu KRIO (-110°C) (*Louis i wsp. 2020*). Natomiast po serii 5 KRIO ciśnienie oraz częstość skurczów serca nie były już istotnie różne co może wskazywać na efekt przyzwyczajenia. Na podobną

adaptacyjną zmianę w układzie krążenia zwróciła uwagę Lubkowska i współautorzy (*Lubkowska i wsp. 2011*), którzy stwierdzili istotnie wyższe wartości ciśnienia skurczowego, rozkurczowego i średniego ciśnienia oraz istotnie niższe częstotliwości skurczów serca po serii KRIO. Autorzy zaobserwowali jednak, że już po 10 minutach od zakończenia pobytu w kriokomorze ciśnienie i częstotliwości skurczów serca wróciły do poziomu wyjściowego. Kriostymulacja całego ciała z pewnością jest czynnikiem stresowym i bodźcem dla organizmu, który może znacznie podnosić skurczowe ciśnienie krwi, ale zmiany te są przejściowe i bezpieczne dla zdrowia u osób z prawidłowym ciśnieniem tętniczym krwi. Przyzwyczajenie jest najczęściej spotykaną formą adaptacji obserwowaną u ludzi w odpowiedzi na powtarzającą się ekspozycję na zimno. W miarę rozwoju przyzwyczajenia, reakcje fizjologiczne na zimno stają się mniej wyraźne niż w stanie przed aklimatyzacją. Ta zmiana adaptacyjna przejawia się zwykle jako stępiona reakcja termogenezy dreszczowej i osłabiona reakcja skurczowa skórnych naczyń krwionośnych (*Castellani i wsp. 2016; Leppaluoto i wsp. 2001; Pokora i wsp. 2023*) na działanie zimna. Wyniki badań Westerlund i współautorów (*Westerlund i wsp. 2004*) wskazują, że seria kriostymulacji silnie wpływa na temperaturę skóry w spoczynku, ale nie powoduje znaczących zmian temperatury wewnętrznej. Wyniki omawianych badań są zgodne z tymi przedstawionymi przez Leppaluoto i współautorów (*Leppaluoto i wsp. 2001*), którzy stwierdzili wyższą temperaturę skóry po serii kriostymulacji ogólnoustrojowej, połączonej z brakiem zmian temperatury wewnętrznej. Wyższą, choć nieistotnie temperaturę skóry po serii kriostymulacji w warunkach termoneutralnych przedstawili także van Der Lans i współautorzy (*Van Der Lans i wsp. 2013*). Podwyższona temperatura skóry po adaptacji do zimna, której towarzyszy zmniejszona reakcja naczyniowo-skurczowa na zimno, zdaniem autorów może być wyrazem przyzwyczajenia. W obecnych badaniach kobiety, w porównaniu z mężczyznami, przejawiały istotnie niższą średnią ważoną temperaturę skóry ocenianą w spoczynku przed zastosowaniem serii KRIO. Można przypuszczać, że wynika to z różnicy w zawartości tkanki tłuszczowej u mężczyzn i kobiet i różnic w skórnym przepływie krwi. Osoby z większym podskórnym zapasem tkanki tłuszczowej mają zwykle niższą temperaturę skóry niż osoby szczupłe, ponieważ ciepło z głębszych tkanek (np. mięśni) trudniej dociera do skóry (*Hammond i wsp. 2014, Stock i wsp. 2004*). Ponadto kobiety cechuje większy niż mężczyźni opór cieplny podczas ekspozycji na działanie bodźca zimna. Ten opór cieplny jest wyrazem izolacji termicznej tkanek i jest odwrotnie proporcjonalny do przewodności cieplnej. Z tego powodu bezpośrednio po kriostymulacji ogólnoustrojowej temperatury skóry u kobiety osiągają niższe wartości w porównaniu z mężczyznami (*Polidori i wsp. 2018; Cholewka i wsp. 2016*).

W niniejszej pracy, po serii kriostymulacji ogólnoustrojowych średnia ważona temperatura skóry nie różniła się istotnie u mężczyzn i kobiet w odróżnieniu do wyników z badania kontrolnego. Możliwym wytłumaczeniem tego zjawiska jest to, iż większy przyrost temperatury skóry u kobiet (M:0,9 °C vs K: 1,2 °C) po serii 10 KRIO był spowodowany niższymi wartościami wyjściowymi T_{SK} i większą możliwością do wzrostu w wyniku adaptacji.

5.1.1 Zmiany fizjologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny

Zmiany adaptacyjne do zimna mogą wpływać na cechy somatyczne i funkcjonalne organizmu w spoczynku oraz kształtować odpowiedź temperaturową, metaboliczną, a także immunologiczną na wysiłek fizyczny (*Pokora i wsp. 2023*). Podczas wysiłku w obu seriach badań (przed i po serii kriostymulacji) intensywność wysiłku wyrażona jako %VO₂max, były zbliżone. Ponadto u obu płci względne obciążenie wysiłkiem wyrażone jako % VO₂max było podobne. Odnosząc się do zmian w poborze tlenu (ΔVO_2) u badanych większy wysiłkowy koszt energetyczny po serii KRIO wystąpił w grupie mężczyzn, co uwidocznione zostało wystąpieniem różnic płciowych w przyroście wysiłkowym tej zmiennej. Większy przyrost ΔVO_2 w grupie mężczyzn po KRIO wydaje się świadczyć o metabolicznych konsekwencjach dostosowania do zimna w tej grupie badanych, które ujawniły się podczas wysiłku. Klimek i współautorzy (*Klimek i wsp.2010*) stwierdzili, że seria dziesięciu trzuminutowych kriostymulacji ogólnoustrojowych o temperaturze -130 °C nie przyczyniła się do poprawy wydolności tlenowej u mężczyzn i kobiet. Wprost przeciwnie, odnotowali nieistotne obniżenie maksymalnego poboru tlenu oraz progu wentylacyjnego u badanych. Podobne wyniki badań przedstawili Dybek i współautorzy (*Dybek i wsp.2012*), którzy nie stwierdzili istotnych zmian w zdolnościach wysiłkowych po serii 10 KRIO u mężczyzn i kobiet, a jedynie poprawę morfologii krwi (wzrost liczby RBC, wzrost stężenia HB i wartości HCT). Sześciotygodniowy program treningowy połączony z serią kriostymulacji ogólnoustrojowych także nie przyczynił się do znaczącego wzrostu wytrzymałości aerobowej u badanych mężczyzn i kobiet (*Haq i wsp.2022*). Wysiłkowy przyrost temperatury wewnętrznej był mniejszy po serii kriostymulacji, ale zbliżony u mężczyzn i kobiet (1,00°C vs. 0,96 °C). Biorąc pod uwagę fakt, że wzrost temperatury wewnętrznej odzwierciedla zmiany równowagi między szybkością magazynowania i odprowadzania ciepła z organizmu do otoczenia (*Kenefick i wsp.2007*), zbliżony przyrost temperatury wewnętrznej podczas wysiłku przy

wyższym tempie metabolizmu może wskazywać na efektywne odprowadzenie ciepła podczas wysiłku w obu sesjach eksperymentu u mężczyzn i kobiet (*Pokora i wsp.2007*).

5.2 Zmiany hematologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku

Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych zarówno u badanych mężczyzn jak i kobiet spowodowała istotne obniżenie ilości krwinek czerwonych oraz stężenie hemoglobiny. Podczas gdy liczba krwinek białych oraz hematokryt nie uległy istotnym zmianom. Podobne wyniki odnotowali Kępińska-Szyszkowska i współautorzy (*Kępińska-Szyszkowska i wsp.2022*), którzy po serii 12 KRIO u aktywnych fizycznie mężczyzn stwierdzili istotne obniżenie liczby czerwonych krwinek i stężenia hemoglobiny w porównaniu z wartościami przed zabiegami. Natomiast istotne zmiany ilości białych krwinek zaobserwowane zostały tylko w grupie osób nietreningujących. Autorzy pracy wnioskowali, że osoby wytrenowane są odporne na działanie temperatur kriogennych, a kriostymulacja jest bardziej skuteczna w grupie osób niewytrenowanych. Również Lombardi i współautorzy (*Lombardi i wsp. 2013*) po serii 7 KRIO dwa razy dziennie u profesjonalnych zawodników rugby, stwierdzili istotnie niższe RBC, HB i HCT przy braku zmian w liczbie WBC, w porównaniu do okresu przed kriostymulacją. Podobnie Klimek i współautorzy (*Klimek i wsp.2010*) stwierdzili, że dziesięć trzyminutowych zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowych o temperaturze -130°C spowodowało istotnie obniżenie liczby RBC, stężenia HB i HCT u badanych mężczyzn i kobiet- studentów kierunku wychowania fizycznego. Nie odnotowali oni natomiast istotnych zmian w liczbach WBC po serii KRIO. Szyguła i współautorzy (*Szyguła i wsp.2014*) po serii 10 oraz 20 KRIO zaobserwowali u badanych istotne obniżenie liczby RBC, stężenia HB i HCT w porównaniu do pierwszej kriostymulacji, natomiast liczba WBC była istotnie wyższa. W miarę kontynuowania serii KRIO zauważono, że analizowane zmienne hematologiczne wróciły do wartości notowanych przed stosowaniem tego oddziaływania. Odnosząc się do wyników otrzymanych w obecnym badaniu, które są spójne z wynikami prac innych autorów, można przypuszczać, że zmiany hematologiczne wywołane przez serię 10 kriostymulacji ogólnoustrojowej są przejściowe i mieszczą się w zakresie zmian referencyjnych (*Lombardi i wsp. 2017*). Szyguła i współautorzy (*Szyguła i wsp. 2014*) uważają, że redukcja liczby krwinek czerwonych po kriostymulacji może być w większym stopniu wynikiem nasilonej hemolizy erytrocytów, niż zmian objętości osocza. Tej zmianie towarzyszy niewielki wzrost stężenia erytropoetyny,

która stymuluje proces erytropoezy, w wyniku czego liczba krwinek czerwonych i stężenie hemoglobiny osiąga poziom zbliżony do wartości wyjściowych. Analizując cechy morfologii krwi obwodowej pod kątem różnic płciowych, w niniejszej pracy stwierdzono istotnie wyższą liczbę krwinek czerwonych, większe stężenia hemoglobiny oraz wyższy hematokryt u mężczyzn porównaniu z kobietami, zarówno w badaniu kontrolnym jak i po serii KRIO. Występowanie różnic płciowych w tych zmiennych jest powszechnie obserwowane i wiąże się z wyższym poziomem testosteronu u mężczyzn, co ułatwia erytropoezę (*Zeng i wsp.2001; Grau i wsp.2018*). Zatem profil zmian hematologicznych po serii KRIO był zbliżony u mężczyzn i kobiet.

5.2.1 Zmiany hematologiczne po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny

W dostępnej literaturze wiele prac podejmuje tematykę wpływu zarówno pojedynczego zabiegu jak i serii kriostymulacji na zmiany hematologiczne, ale dotyczą one w dużej mierze warunków spoczynkowych. Nieliczne prace podejmowały próbę oceny zmian tych wskaźników w odpowiedzi na wysiłek i w restytucji powysiłkowej po działaniu zimna na organizm. Wysiłkowe przyrosty analizowanych zmiennych były zbliżone i nie zależały od płci badanych. Istotny statystycznie wzrost liczby erytrocytów, stężenia hemoglobiny i hematokrytu obserwowano bezpośrednio po wysiłku także w pracach innych autorów. Zmiany te wystąpiły zarówno u zawodników jak i niewytrenowanych osób obu płci, co wskazuje na bezpośredni wpływ kriostymulacji ogólnoustrojowej na wskaźniki hematopoezy (*Wardyn i wsp.2008; Clarkson i wsp.2002*). Wykazano także, że stężenie hemoglobiny po wysiłku fizycznym przyjmuje wyższe wartości z powodu hemokoncentracji, jako efekt utraty wody w wyniku oddychania i pocenia się (*Wasserman i wsp.2004*). Po godzinie restytucji wartości tych zmiennych były porównywalne z wartościami wyjściowymi (*Gwozdziński i wsp.2013*).

5.3 Zmiany wybranych markerów biochemicznych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku

W celu oceny mikrourazów włókien mięśniowych wywołanych wysiłkiem fizycznym najczęściej ocenia się w krwi sportowców wybrane markery biochemiczne: aktywność kinazy kreatynowej i dehydrogenazy mleczanowej. Ich aktywność wzrasta w odpowiedzi na wysiłek fizyczny z powodu zwiększonej przepuszczalności błon komórkowych mięśni i uwolnienia tych enzymów do krwioobiegu. Z fizjologicznego punktu widzenia, istotny wzrost aktywności kinazy kreatynowej w połączeniu ze zmniejszoną tolerancją wysiłkową jest krytycznym markerem przetrenowania (*Barriel i wsp. 2020*). Natomiast redukcja aktywności tych markerów związana jest z procesami regeneracyjnymi oraz adaptacyjnymi (*Lombardi i wsp. 2014*). Powodem tej redukcji w fazie restytucji powysiłkowej jest regeneracja fosfokreatyny przy użyciu ATP pochodzącego z procesów tlenowych, co zmniejsza aktywność kinazy kreatynowej w kierunku tworzenia ATP z fosfokreatyny (*Berriel i wsp. 2020*).

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono istotny wzrost aktywności CK w spoczynku po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych u mężczyzn i kobiet. Przeciwnie Banfi i współautorzy (*Banfi i wsp. 2014*) stwierdzili istotne 40% obniżenie aktywności CK po pięciu seriach KRIO połączonych z treningiem o dużej intensywności u zawodników rugby. W innych badaniach Woźniak i współautorzy (*Woźniak i wsp. 2013*) stwierdzili 34% obniżenie aktywności kinazy kreatynowej po serii 10 KRIO stosowanych u kajakarzy przed sesją treningową. Odmienne wyniki zamieścili w pracy Lombardi i współautorzy (*Lombardi i wsp. 2014*), którzy poddali zawodników rugby, członków kadry narodowej Włoch, dwa razy dziennie serii KRIO przez 7 dni. Kriostymulacja zawodników realizowana była pod koniec ich sezonu zasadniczego. Po tygodniu KRIO stwierdzono istotnie wyższe aktywności LDH u zawodników i brak zmian w aktywnościach CK, w porównaniu do badań przed oddziaływania zimnem. Odnosząc się do wyników innych autorów, istotne obniżenie aktywności kinazy kreatynowej u zawodników mogło być następstwem liczby zastosowanych kriostymulacji (w pracy Banfi istotne obniżenie CK po serii 5 KRIO mogło wynikać z efektu „nowości”) czy kolejności stosowania oddziaływania zimnem i jednostki treningowej (u Woźniak KRIO przed wysiłkiem). Z kolei wzrost aktywności LDH u zawodników rugby mógł być podyktowany rodzajem treningu stosowanego przez zawodników (zawodnicy rugby stosowali ćwiczenia siłowe po kriostymulacjach. Brak istotnych zmian aktywności CK i LDH u zawodników, którzy stosowali serie kriostymulacji ogólnoustrojowych jako uzupełnienie treningu może świadczyć o efekcie łagodzenia skutków treningu (np. szybsza eliminacja stężenia mleczanu) i poprawie

„spowalnianiu” tempa uszkodzeń włókien mięśniowych poddanych treningowi (Miller i wsp. 2010) i wysiłkowi. W prezentowanej pracy, obserwowano także różnice w aktywności kinazy kreatynowej u mężczyzn i kobiet zarówno w spoczynku jak w odpowiedzi na wysiłek fizyczny. Te rozbieżności mogą wynikać z różnic w masie mięśniowej i odpowiedzi hormonalnej. Mężczyźni charakteryzują się zazwyczaj większą masą mięśniową niż kobiety, co przekłada się na wyższą zawartość kinazy kreatynowej (CK) w mięśniach (Yen i wsp. 2016). U kobiet dominującym hormonem płciowym jest estrogen, który może działać ochronnie na błony komórkowe, zmniejszając ich podatność na mikrourazy i tym samym ograniczając wpływ i aktywność CK we krwi (Tiidus, 2003; Paroo i wsp. 2002; Kendball i wsp. 2002). Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że spoczynkowe stężenia dialdehydu malonowego obniżyło się po serii 10 KRIO jedynie u kobiet. Podobne wyniki w swojej pracy przedstawili Sutkowy i współautorzy (Sutkowy i wsp. 2014). Autorzy badali kajakarzy (mężczyzn) przygotowujących się do Mistrzostw Świata, serii 20 kriostymulacji ogólnoustrojowych (dwa razy dziennie przez 10 dni) i nie stwierdzili istotnych zmian aktywności MDA. Zaobserwowali jednak, że peroksydacja lipidów u zawodników zmniejszała się dopiero po zakończeniu serii KRIO, choć zmiana ta nie była istotna statystycznie. Istotne obniżenie stężenia substancji reagujących z kwasem tiobarbiturowym (TBARS) w grupie kobiet po serii KRIO przedstawili swojej pracy Mila-Kierzenkowska i współautorzy (Mila-Kierzenkowska i wsp. 2009). Badaniom poddano grupę 9 kajakarek w dwóch cyklach treningowych: pierwszy typowy dziesięciodniowy cykl treningowy oraz drugi dziesięciodniowy cykl poprzedzony kriostymulacją ogólnoustrojową (dwa razy dziennie, 3 minuty, -120°C). Autorzy wnioskowali, iż kriostymulacja ogólnoustrojowa w połączeniu z treningiem specjalistycznym poprawia zdolności przeciwutleniające u kobiet, co można tłumaczyć bardziej efektywną neutralizacją reaktywnych form tlenu, a tym samym ograniczonym ich oddziaływaniem na komórki. Ogólnie uważa się, że w porównaniu do mężczyzn, kobiety cechuje zwiększona komórkowa i humoralna odpowiedź immunologiczna, ale także większe ryzyko rozwoju chorób autoimmunologicznych (Dela Justina i wsp. 2021). W opracowaniach naukowych występuje pogląd, iż młode kobiety przed menopauzą doświadczają mniejszego stresu oksydacyjnego w porównaniu z mężczyznami. Jednym z powodów tych różnic mogą być przeciwutleniające właściwości estrogenów. (Kander i wsp. 2017; Mendoza-Núñez i wsp. 2010, Mastaloudis i wsp. 2004).

5.3.1 Zmiany wybranych markerów biochemicznych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny

W dostępnej literaturze zagadnienie wpływu wysiłku fizycznego na zmiany markerów biochemicznych, zwłaszcza po działaniu zimna nie jest przedmiotem wielu opracowań. Według Callegari i współautorów (*Callegari i wsp. 2017*) wysiłek fizyczny o umiarkowanej lub wysokiej intensywności powoduje znaczne uszkodzenia włókien mięśniowych. W literaturze można spotkać wyniki badań, które wskazują na dużą zmienność międzyosobniczą aktywności kinazy kreatynowej w odpowiedzi na zadany wysiłek fizyczny u zawodników. U większości sportowców wyczynowych aktywność CK we krwi jako następstwo wykonywanego wysiłku może wzrosnąć, aż do 1000 U/l (*Clarkson i wsp. 2006*). Jednak niektórzy zawodnicy wykazują jedynie umiarkowaną odpowiedź lub jej brak (osoby niereagujące) (*Urhausen i wsp. 2000*). Te rozbieżności w aktywności CK w odpowiedzi na wysiłek mogą być spowodowane rodzajem wykonywanego wysiłku (ćwiczenia siłowe i szybkościowe) oraz jego intensywnością (*Laufs i wsp. 2015*). W obecnych badaniach nie stwierdzono istotnych różnic aktywności CK w odpowiedzi na wysiłek fizyczny po serii 10 KRIO u mężczyzn i kobiet. Odnotowano natomiast istotnie mniejszy przyrost aktywności kinazy kreatynowej w odpowiedzi na wysiłek fizyczny w 24h restytucji u mężczyzn. Ten mniejszy przyrost aktywności CK w czasie restytucji powysiłkowej może wskazywać na lepszą regenerację mięśni po wysiłku u mężczyzn po serii KRIO. Natomiast badania oceniające wpływ różnych protokołów ćwiczeń na markery stresu oksydacyjnego ujawniły sprzeczne wyniki. Ashton oraz Bailey zaobserwowali znaczny wzrost markera peroksydacji lipidów błonowych (MDA) po umiarkowanych (70% maksymalnego zużycia tlenu) i maksymalnych ćwiczeniach wykonywanych na cykloergometrze rowerowym (*Ashton i wsp. 1998; Bailey i wsp. 2001*). Jednak inne badania nie wykazały żadnych zmian w stężeniach MDA w odpowiedzi na wysiłek fizyczny (*Margaritis i wsp. 1997; Bloomer i wsp. 2005*). Prawdopodobnym wyjaśnieniem różnic w odpowiedzi stężenia MDA na wysiłek, obserwowanych przez wspomnianych autorów, jest zróżnicowanie poboru tlenu podczas wysiłków u badanych. Wynika to z istniejącej zależności między poborem tlenu, a ilością wolnych rodników (*Souissi i wsp. 2020*). Przypuszcza się, że stosowanie wysiłków submaksymalnych nie powoduje istotnych przyrostów substancji regulujących z kwasem tiobarbiturowym (TBARS) we krwi badanych, jednak obserwuje się obniżenie aktywności dialdehydu malonowego poniżej poziomu spoczynkowego w restytucji powysiłkowej (*Davison i wsp. 2008; Steinberg i wsp. 2006; Nikolaidis i wsp. 2007; Gwoździński i wsp. 2013*). W obecnym opracowaniu, po zastosowanym wysiłku fizycznym po serii 10 KRIO

odnotowano istotnie niższy przyrost stężenia MDA w 1h restytucji powysiłkowej u mężczyzn w porównaniu do kobiet. Można przypuszczać, że seria 10 KRIO, przyczyniła się do znamienego zmniejszenia peroksydacji lipidów błonowych w grupie mężczyzn. Wydaje się zatem, że seria oddziaływań kriostymulacji ogólnoustrojowej prowadzi po większego ograniczenia peroksydacji i zmniejszenia przepuszczalności błon komórkowych w restytucji powysiłkowej u mężczyzn w porównaniu z kobietami, u których ochronne działanie żeńskich hormonów płciowych jak wspomniano wcześniej, może ograniczać ten efekt.

5.4 Zmiany wybranych markerów zapalnych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w spoczynku

Sportowcom na najwyższym poziomie towarzyszy zwykle utrzymujące się uczucie zmęczenia i opóźnionej bolesności mięśniowej (DOMS) (*Hohenauer i wsp.2015*). W celu ograniczenia odpowiedzi zapalnej i bóli mięśniowych stosuje się różne metody odnowy biologicznej, w tym kriostymulację ogólnoustrojową lub miejscową (*Skrzek i Podbielska, 2012*). Kriostymulacja ogólnoustrojowa nie wpłynęła istotnie na zmianę stężenia interleukiny 6 w osoczu krwi badanych, choć odnotowano wyższe stężenia IL-6 po serii 10 kriostymulacji u obu płci. Wzrost stężenia tej cytokiny mógł być spowodowany pracą mięśni towarzyszącą aktywacji termogenezy dreszczowej w odpowiedzi na ekspozycje na zimno (*Rose i wsp.2017*). Istotny wzrost stężenia IL-6 po serii KRIO w swoich badaniach przedstawiła Ziemann i współautorzy (*Ziemann i wsp.2012*). Grupę badawczą stanowili profesjonalni zawodnicy tenisa ziemnego, którzy poddani zostali 5 oddziaływaniom temperatur kriogenicznych (-120°C) połączonych z treningiem o umiarkowanej intensywności. Zastosowanie kriostymulacji w połączeniu z treningiem o umiarkowanej intensywności było skuteczniejsze w procesie regeneracji niż sam trening. W innym opracowaniu Autorki, seria 10 kriostymulacji (2 razy dziennie przez 5 dni) u młodych mężczyzn nie przyczyniła się do wzrostu stężenia IL-6 w porównaniu do badania kontrolnego (*Ziemann i wsp.2014*). Wzrost stężenia IL-6 jako cytokiny prozapalnej po serii 10 oraz 20 KRIO u mężczyzn notowano tylko w czasie oddziaływań temperatur kriogenicznych. Po 2 tygodniach od zakończenia stosowania KRIO, zmiany w stężeniu IL-6 nie były już widoczne. W prezentowanych badaniach nie odnotowano istotnych zmian w stężeniu TNF- α po kriostymulacji ogólnoustrojowej. Podobne wyniki z swojej pracy przedstawiła Straburzyńska Lupa (2007) oraz Leppaluoto (2008). Stosowanie

kriostymulacji nie przyczyniło się do zmiany stężenia tego markera, co może wskazywać na brak zmian o charakterze prozapalnym ocenianym w spoczynku po serii KRIO. Można też przytoczyć wyniki badań, w których odnotowano istotnie niższe stężenia TNF-alfa po serii KRIO, ale przypuszczalnie powodem tej zmiany była niewielka ilość zabiegów (5 serii), wysoki poziom wyjściowych tego markera u zawodników oraz niska intensywność wykonywanych ćwiczeń w trakcie trwania doświadczenia (*Ziemann i wsp. 2012*). Wiarygodnym i często stosowanym wskaźnikiem oceny stanu zapalnego jest stężenie białka C-reaktywnego. Seria dziesięciu KRIO nie wpłynęła istotnie na zmianę stężenia tego markera, zarówno w spoczynku, jak i w odpowiedzi na wysiłek i po jego zakończeniu u mężczyzn ani u kobiet. Seria 5 kriostymulacji ogólnoustrojowych zawodników rugby reprezentacji Włoch także nie wpłynęła istotnie na zmianę stężenia tego białka (*Banfi i wsp. 2009*) co potwierdza brak istotnego wpływu krótkotrwałej ekspozycji na ekstremalnie niskie temperatury na markery stanu zapalnego w organizmie.

5.4.1 Zmiany wybranych markerów zapalnych po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oceniane w odpowiedzi na wysiłek fizyczny

Stężenie interleukiny 6 i jej zmiany w odpowiedzi na wysiłek fizyczny o różnej charakterystyce była szeroko badana w środowisku naukowym (*Steensberg i wsp.2000; Kamimura i wsp.2003; Febbraio, 2002*). W przeprowadzonych badaniach, w odpowiedzi na wysiłek fizyczny o umiarkowanej intensywności stężenie IL-6 wzrastało znacznie, zarówno w badaniu kontrolnym jak i po serii KRIO u mężczyzn i kobiet. Dopiero w 24 godzinie restytucji stwierdzono brak przyrostu tej cytokiny w obu grupach. Wielkość wzrostu stężenia IL-6 w osoczu jest powiązana z ilością masy mięśniowej zaangażowanej w wysiłek oraz z czas jest trwania. Dużą rolę odgrywa także intensywność wysiłku, szczególnie jeśli prowadzi do wyczerpania zapasów glikogenu mięśniowego. W związku z tym badania wykazały, że wyczerpanie glikogenu mięśniowego znacznie zwiększa uwalnianie IL-6 z pracujących mięśni (*Nash D. i wsp.2022; Ellingsgaard H. i wsp.2019; Fischer C. i wsp. 2006*). W niniejszych badaniach nie stwierdzono istotnych różnic płciowych dla stężenia tej cytokiny w każdym momencie pomiarowym. Podobnie w pracach innych autorów, po ukończonym maratonie oraz po 1,5 godzinie od jego zakończeniu, nie stwierdzono istotnych różnic w stężeniu IL-6 u mężczyzn i kobiet (*Nieman i wsp.2001*). Podobnie, 90-minutowy wysiłek na

cykloergometry rowerowym przy obciążeniu 65% $\text{VO}_{2\text{max}}$ nie spowodował istotnych różnic w stężeniu IL-6 w surowicy między kobietami a mężczyznami (*Gillum i wsp. 2011*). W literaturze naukowej opisano badania, w których zaobserwowano wzrost stężenia TNF-alfa we krwi w odpowiedzi na wysiłek fizyczny, jednak dotyczyło to wysiłków trwających ponad godzinę (*Ostrowski i wsp., 1999; Nieman i wsp., 2012; Ulven i wsp., 2015*). Z kolei po 45-minutowej umiarkowanej jednostce treningowej oraz 5-minutowym intensywnym biegu nie odnotowano istotnych zmian stężenia TNF-alfa we krwi badanych (*Moldoveanu i wsp., 2001*). Wyniki te sugerują, że czas trwania wysiłku odgrywa istotną rolę w regulacji uwalniania TNF-alfa. Wzrost poziomu białka CRP w odpowiedzi na wysiłek fizyczny zaobserwowano w pracach różnych autorów i dotyczył zarówno wysiłków umiarkowanych (*Draganidis i wsp., 2013*), jak i intensywnych (*Fatouros i wsp., 2013*). Charakterystyczne dla białka CRP jest to, że jego poziom gwałtownie wzrasta podczas procesów zapalnych i może pozostawać podwyższony przez dłuższy czas (1–3 dni). Z tego powodu mogły występować różnice w czasie wzrostu poziomu CRP u poszczególnych badanych. W badaniach Draganidisa i Fatourosa wzrost poziomu CRP odnotowano pod koniec wysiłku fizycznego, natomiast w wynikach Petersena (*Petersen i wsp. 2005*) wzrost ten zaobserwowano dopiero po jednym dniu od zakończenia wysiłku. W prezentowanych wynikach badań nie odnotowano istotnych zmian stężenia czynnika martwicy nowotworów oraz białka C-reaktywnego, zarówno w odpowiedzi wysiłkowej jak i po serii KRIO u badanych mężczyzn i kobiet. Nie stwierdzono także istotnych różnic między mężczyznami a kobietami co oznacza, że modulacja reakcji zapalnych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowej była zbliżona u mężczyzn i kobiet.

Ograniczenia badań

Głównym ograniczeniem badań była mała liczebność grupy badanych, ograniczonej do elitarnych zawodników kadry narodowej (zgodnie z wymogami projektu finansowanego przez Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego 0050/RS4/2016/54 i wymaganą zgodą uzyskaną z Polskiego Związku Sportowego narciarzy biegowych na udział zawodników w badaniach), co było powodem braku możliwości wprowadzenia do badań grupy kontrolnej. Innym, było ograniczenie czasowe badań do okresu przejściowego (trwającego 3-4 tygodnie) rocznego cyklu treningowego zawodników Kadry Narodowej. W tak krótkim czasie zrealizowano badania wstępne (na tydzień przed badaniami właściwymi), badanie wysiłkowe zasadnicze 1., serię 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych oraz badanie wysiłkowe 2. z 24h restytucją. Innym czynnikiem ograniczającym była niemożność uwzględnienia w porównaniu odpowiedzi na zastosowaną terapię u mężczyzn i kobiet, fazy cyklu menstruacyjnego u kobiet. Było to podyktowane długością trwania faz cyklu menstruacyjnego u kobiet oraz czasem prowadzenia badań w okresie przejściowym. Dobór ilości zabiegów (10) kriostymulacji ogólnoustrojowych był podyktowany harmonogramem zabiegów kriostymulacji ogólnoustrojowej ustalonym przez GCMR w Katowicach. Niemniej jednak w całym doświadczeniu dążono do maksymalnego ujednolicenia warunków badań dla obu płci, zalecano należytą dbałość o stan nawodnienia, spożywanie diety mieszanej, odpoczynek i przestrzeganie bezwzględnych zaleceń trenera dotyczących podejmowania w tym okresie aktywności fizycznej.

6. Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano następujące wnioski:

1. Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje redukcję masy ciała i zawartości tkanki tłuszczowej. Redukcja zawartości tkanki tłuszczowej jest istotnie większa u mężczyzn niż u kobiet.
2. Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje nieistotny i zbliżony u mężczyzn i kobiet wzrost tempa procesów metabolicznych oraz obniżenie częstości skurczów serca i temperatury wewnętrznej ciała w spoczynku.
3. Zastosowanie serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje istotne obniżenie liczby krwinek czerwonych i stężenia hemoglobiny we krwi u obu płci. Płeć badanych nie różnicuje istotnie wielkości zmian hematologicznych w spoczynku po zastosowanej terapii.
4. Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych prowadzi do wzrostu aktywności kinazy kreatynowej oraz obniżenia stężenia dialdehydu malonowego we krwi badanych. Wzrost aktywności kinazy kreatynowej po serii kriostymulacji w spoczynku jest istotnie większy u mężczyzn niż u kobiet. Natomiast obniżenie stężenia dialdehydu malonowego po serii kriostymulacji w spoczynku jest istotnie większe u kobiet niż mężczyzn. Zmiany pozostałych markerów biochemicznych ocenianych w spoczynku są zbliżone u obu płci.
5. Seria 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje nieistotny statystycznie i zbliżony u mężczyzn i kobiet wzrost stężenia interleukiny 6 i czynnika martwicy nowotworów we krwi w spoczynku.
6. Płeć nie różnicuje istotnie zmian fizjologicznych ocenianych podczas wysiłku fizycznego, jednak zastosowanie serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje istotnie większy przyrost tempa procesów metabolicznych w odpowiedzi na wysiłek fizycznych u mężczyzn niż u kobiet.

7. Płeć nie różnicuje istotnie zmian wybranych markerów biochemicznych w odpowiedzi na wysiłek fizyczny po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych. Powoduje jednak istotnie większy przyrost stężenia dialdehydu malonowego w 1 godzinie restytucji po wysiłku u kobiet niż u mężczyzn oraz wpływa na mniejszy przyrost aktywności kinazy kreatynowej w 24 godzinie restytucji u mężczyzn w porównaniu do kobiet. Płeć nie różnicuje istotnie zmian stężenia wybranych cytokin po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych ani w odpowiedzi na wysiłek, ani po jego zakończeniu.

7. Piśmiennictwo

1. Abaidia A.E., Lamblin J., Delecroix B., Leduc C. et al. (2016). Recovery from exercise-induced muscle damage: cold water immersion versus whole body cryotherapy. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2016, 1–23.
2. Acosta F.M., Martinez-Tellez B., Sanchez-Delgado G., Alcantara J.M.A., et al. (2018). Correction: Physiological responses to acute cold exposure in young lean men. *PLoS ONE*. 13(7):0200865.
3. Ashton T., Rowlands C., Jones E. et al. (1998). Electron spin resonance spectroscopic detection of oxygen-centred radicals in human serum following exhaustive exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 77, 498–502.
4. Bailey D.M, Davies B., Young I.S. (2001). Intermittent hypoxic training: Implications for lipid peroxidation induced by acute normoxic exercise in active men. *Clin. Sci.*, 101, 465–475.
5. Banfi G., Lombardi G., Colombini A., Melegati, G. (2010). Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Medicine*. 40(6):509–517.
6. Banfi G., Melegati G., Barassi A., Dogliotti G., et al. (2009). Effects of whole-body cryotherapy on serum mediators of inflammation and serum muscle enzymes in athletes. *Journal of Thermal Biology*, 34(2), 55–59.
7. Blair M.L. (2007). Sex-based differences in physiology: What should we teach in the medical curriculum? *American Journal of Physiology - Advances in Physiology Education*. American Physiological Society.
8. Bloomer R.J., Goldfarb A.H., Wideman L. et al. (2005). Effects of acute aerobic and anaerobic exercise on blood markers of oxidative stress. *J. Strength Cond. Res.*, 19, 276–285.

9. Bouzigon R., Dupuy O., Tiemessen I., De Nardi M., et al. (2021). Cryostimulation for Post-exercise Recovery in Athletes: A Consensus and Position Paper. *Frontiers in Sports and Active Living*. Frontiers Media S.A.
10. Brand S, Beigel F, Olszak T. (2006). IL-22 is increased in active Crohn's disease and promotes proinflammatory gene expression and intestinal epithelial cell migration. *Gastrointest Liver Physiol*. 290: 827-838.
11. Burse RL. (1979). Sex differences in human thermoregulatory response to heat and cold stress. *Human Factors*. 21(6): 687-699.
12. Burton AC. (1935). Human Calorimetry: The average temperature of the tissues of the body. *J Nutr*. 9:261–280.
13. Byrska M., Stańczak A. (2017). Białko C-reaktywne jako marker procesów zapalnych. *Lek w Polsce*, 27(08), 26–33.
14. Callegari G. A., Novaes J. S., Neto G. R., Dias I., et al. (2017). Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses after Different Resistance and Aerobic Exercise Protocols. *Journal of human kinetics*, 58, 65–72.
15. Całyniuk B., Grochowska-Niedworok E., Walkiewicz K., Kawecka S., et al.(2016). Malondialdehyde (MDA) – product of lipid peroxidation as marker of homeostasis disorders and aging. *Annales Academiae Medicae Silesiensis*, 70, 224–228.
16. Cannon B., Nedergaard J. (2011). Nonshivering thermogenesis and its adequate measurement in metabolic studies. *J. Exp. Biol*. 214: 242-25.
17. 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.
18. Chan Y.Y., Yim Y. M., Bercades D., Cheng T.T., et al. (2016). Comparison of different cryotherapy recovery methods in elite junior cyclists. *Asia Pac. J. Sports Med. Arthrosc. Rehabil. Technol*. 5, 17–23
19. Cheng B., Kuipers H., Snyder A.C., Keizer H.A., et al. (1992). A new approach for the determination of ventilator and lactate thresholds. *Int. J. Sport Med*. 13, 518–522.

20. Cholewka A. J., Stanek A., Wójcik M., Sieroń-Stołtny K., et al. (2017). Does local cryotherapy improve thermal diagnosis similar to whole-body cryotherapy in spinal diseases? *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 127, 1155–1162.
21. Clarkson P.M., Hubal M.J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *Am J Phys Med Rehabil.* 81: 52–69.
22. Clarkson P.M, Kearns A.K, Rouzier P.(2006). Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 38:623–627.
23. Cunningham D.J, Stolwijk A.J, Wenger C.B. (1978). Comparative thermoregulatory responses of resting men and women. *J Appl Physiol.* 45:908–915.
24. Czerska M., Mikołajewska K., Zieliński M., Gromadzińska J., i wsp. (2015). Współczesne markery stresu oksydacyjnego. *Medycyna Pracy.* 66(3): 393–405.
25. Daanen H.A.M., Van Marken Lichtenbelt W.D. (2016). Human whole body cold adaptation. *Temperature.* 3(1): 104-118.
26. Damian M.T., Vulturar R., Login C.C., Damian L., et al. (2021). Anemia in Sports: A Narrative Review. 11(9): 987.
27. Davison G.W., Ashton T., George L., Young I. S, et al. (2008). Molecular detection of exercise-induced free radicals following ascorbate prophylaxis in type 1 diabetes mellitus: a randomised controlled trial. *Diabetologia*, 51(11), 2049–2059.
28. De Bont R., Van Larebeke N. Endogenous. (2004). DNA damage in humans: a review of quantitative data. *Mutagenesis.* 19: 169–185.
29. Dela Justina V., Miguez J.S.G., Priviero F., Sullivan J.C., et al. (2021). Sex differences in molecular mechanisms of cardiovascular aging. *Aging.* 2: 725884.
30. Doeven S.H., Brink M.S., Kosse S.J. (2018). Postmatch recovery of physical performance and biochemical markers in team ball sports; a systematic review. *BMJ Open Sport Exert.Med.*4:e000264.
31. Du Bois D., Du Bois E.F. (1916). A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med.* 17:863-871.

32. Dupuy O., Douzi W., Theurot D. (2018). An evidence-based approach for choosing post-exercise recovery techniques to reduce markers of muscle damage, soreness, fatigue, and inflammation: a systematic review with meta-analysis. *Front Physiol.* 9:403.
33. Dybek T., Szyguła R., Klimek A., Tubek S. (2012). Impact of 10 sessions of whole body cryostimulation on aerobic and anaerobic capacity and on selected blood count parameters. *Biology of Sport*, 29(1):39-43.
34. Fairchild KD, Viscardi RM, Hester L, Sing IS. (2000) Effects of hypothermia and hyperthermia on cytokine production by cultured human mononuclear phagocytes from adults and newborn. *J Interferon Cytokine Res.* 20(12):1049–1055.
35. Farhana A, Lappin SL. (2004). Biochemistry, Lactate Dehydrogenase. *StatPearls*.
36. Febbraio M.A., Pedersen B.K. (2002). Muscle derived interleukin-6: mechanisms for activation and possible biological roles. *FASEB J.* 16: 1335-1347.
37. Febbraio M.A., Steensberg A., Keller C., Starkie R.L., et al. (2003). Glucose ingestion attenuates interleukin-6 release from contracting skeletal muscle in humans. *J Physiol.* 549:607–612.
38. Feletti F. (2016). *Extreme sports medicine*. Springer International Publishing. 1–461.
39. Fischer C. P. (2006). Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance?. *Exercise immunology review*, 12, 6–33.
40. Fleck S. J., Kraemer W. J. (2004). *Designing Resistance Training Programs*. Human Kinetics.
41. Fraga C.G., Oteiza P.I., Galleano M. (2014). In vitro measurements and interpretation of total antioxidant capacity. *Biochim. Biophys. Acta. General Subjects.* 1840: 931–934.
42. Gallagher D., Visser M., Sepúlveda D., Pierson R.N., et al. (1996). How Useful Is Body Mass Index for Comparison of Body Fatness across Age, Sex, and Ethnic Groups? *American Journal of Epidemiology.* 143(3): 228-239.
43. Gannon G.A, Rhind S.G, Suzui M., Shek P.N, et al. (1997). Circulating levels of peripheral blood leukocytes and cytokines following competitive cycling. *Can J Appl Physiol.* 22: 133–147.

44. Gillum T.L., Kuennen M.R., Schneider S., Moseley P. (2011). A review of sex differences in immune function after aerobic exercise. *Exercise immunology review*. 17: 104–121.
45. Gordon K., Blondin D.P., Friesen B.J., Tingelstad H.C., et al. (2019). Seven days of cold acclimation substantially reduces shivering intensity and increases nonshivering thermogenesis in adult humans. *J. Appl. Physiol.* 126:1598–1606.
46. Grau M., Cremer J. M., Schmeichel S., Kunkel M., et al. (2018). Comparisons of Blood Parameters, Red Blood Cell Deformability and Circulating Nitric Oxide Between Males and Females Considering Hormonal Contraception: A Longitudinal Gender Study. *Frontiers in physiology*. 9:1835.
47. Grucza R, Pekkarinen H, Hanninen O. (1999). Different thermal sensitivity to exercise and cold in men and women. *J Therm Biol.* 24:397–401.
48. Gustavo AC, Jefferson SN, Gabriel RN, Ingrid D, et al. (2017). Creatine Kinase and Lactate Dehydrogenase Responses after Different Resistance and Aerobic Exercise Protocols. *J Hum Kinet.* 58:65–72.
49. Gwozdziński K., Pieniązek A., Brzezczyska J., Tabaczar S., et al. (2013). Alterations in red blood cells and plasma properties after acute single bout of exercise. *TheScientificWorldJournal*. 168376.
50. Hammond L. E., Cuttell S., Nunley P., Meyler J. (2014). Anthropometric characteristics and sex influence magnitude of skin cooling following exposure to whole body cryotherapy. *BioMed research international*. 628724.
51. Haq A., Ribbans W.J, Hohenauer E., Baross A.W. (2022). The Effect of Repetitive Whole Body Cryotherapy Treatment on Adaptations to a Strength and Endurance Training Programme in Physically Active Males. *Front. Sports Act. Living* 4:834386.
52. Hirose L., Nosaka K., Newton M. (2004). Changes in inflammatory mediators following eccentric exercise of the elbow flexors. *Exerc Immunol Rev.* 10: 75- 90.
53. Hohenauer E., Taeymans J., Baeyens J. P., Clarys P., et al. (2015). The Effect of Post-Exercise Cryotherapy on Recovery Characteristics: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PloS one*, 10(9): e0139028.

54. Hopkins S. R., Harms C. A. (2004). Gender and Pulmonary Gas Exchange during Exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 32(2):50-56.
55. Horton T.J., Pagliassotti M.J., Hobbs K., Hill J.O. (1998). Fuel metabolism in men and women during and after long-duration exercise. *J Appl Physiol* 85:1823–1832.
56. Hu M., Lin W. (2012). Effects of exercise training on red blood cell production: Implications for anemia. *Acta Haematologica*. 127(3):156-164.
57. Jackowska E., Pisula A., Kassolik K. (2002). Efekt oddziaływania krioterapii ogólnoustrojowej na poziom i aktywność bakteriobójczą białek dopełniacza. *Acta Bio-Opt. Inform. Med.* 8: 157–160.
58. Jackson A.S., Pollock M.L., Graves J.E., Mahar M.T. (1988). Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *Journal of Applied Physiology*. 64(2):529–534.
59. Jaworska J., Micielska K., Kozłowska M., Wnorowski K., et al. (2018). A 2-week specific volleyball training supported by the whole body cryostimulation protocol induced an increase of growth factors and counteracted deterioration of physical performance. *Frontiers in Physiology*. 9:1711.
60. Jonak A., Skrzek A. (2009). Krioterapia w odnowie biologicznej sportowców-przegląd badań. *Cryotherapy in athletes' biological regeneration-review. Acta Bio Optica et Informatica Medica*, 15(4), 319–321.
61. Jówko E. (2021). Czynniki determinujące status oksydacyjno-antyoksydacyjny i jego odpowiedź na wysiłek fizyczny. *Kosmos*, 69(4), 793–805.
62. Jurkowski M. K., Bobek-Billewicz B. (2006). Wysiłek fizyczny i cytokiny. 245–252.
63. Kaikaew K., van den Beukel J. C., Neggers S. J. C. M. M., Themmen A. P. N., et al. (2018). Sex difference in cold perception and shivering onset upon gradual cold exposure. *Journal of Thermal Biology*, 77: 137–144.
64. Kamimura D., Ishihara K., Hirano T. (2003). IL-6 signal transduction and its physiological roles: the signal orchestration model. *Reviews of physiology, biochemistry and pharmacology*. 149: 1–38.

65. Kander M. C., Cui Y., Liu Z. (2017). Gender difference in oxidative stress: a new look at the mechanisms for cardiovascular diseases. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*. Blackwell Publishing Inc. 21(5):1024-1032.
66. Kenefick RW., Cheuvront S.N., Sawka M.N. (2007). Thermoregulatory function during the marathon. *Sports Med*. 37: 312-315.
67. Kenny G.P., McGinn R. (2017). Restoration of thermoregulation after exercise. *Journal of Applied Physiology*. 122(4):933-944.
68. Klimek A.T., Lubkowska A., Szyguła Z., Chudecka M., et al. (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(2), 181–189.
69. Koch A.J., Pereira R., Machado M. (2014). The creatine kinase response to resistance exercise. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, 14(1), 68–77.
70. Kontny E., Maśliński W. (2009). Interleukina 6 – znaczenie biologiczne i rola w patogenezie reumatoidalnego zapalenia stawów. *Reumatologia*. 47(1):24-33.
71. Kopański Z., Grabowska M., Tabak J., Schlegel-Zawadzka M., i wsp. (2008). Próba sprecyzowania wskazań dla leczenia krioterapią ogólnoustrojową chorych na reumatoidalne zapalenie stawów. *Przegląd Lekarski*. 65(4):172-176.
72. Korzonek-Szlacheta I., Wielkoszyński T., Stanek A., Świętochowska E., Karpe et al. (2007). Influence of whole body cryotherapy on the levels of some hormones in professional footballers. *Polish Journal of Endocrinology*. 58(1): 27–32.
73. Kuk J.L., Lee S., Heymsfield S.B., Ross R. (2005). Waist circumference and abdominal adipose tissue distribution: influence of age and sex. *Am. J. Clin. Nutr*. 81:1330–1334.
74. Kulbacka J., Saczko J., Chwilkowska A. (2009). Stres oksydacyjny w procesach uszkodzenia komórek. *Polski Merkuriusz Lekarski*, 27(157), 44–47.
75. Lamont LS, Lemon PW, Bruot BC. (1987). Menstrual cycle and exercise effects on protein catabolism. *Med Sci Sports Exerc*. 19:106-110.

76. Laufs U., Scharnagl H., Halle M., Windler E., et al. (2015). Treatment options for statin-associated muscle symptoms. *Dtsch Arztebl Int.* 112: 748–55.
77. Legrand F. D., Bogard F., Beaumont F., Bouchet B., Blancheteau Y., Polidori G. (2020). Affective response to whole-body cryotherapy: Influence of sex, body mass index, age, time of day, and past experience. *Complementary Therapies in Medicine*, 55: 102539.
78. Leppäluoto J., Korhonen I., Hassi, J. (2001). Habituation of thermal sensations, skin temperatures, and norepinephrine in men exposed to cold air. *Journal of applied physiology*. 90(4):1211–1218.
79. Leppäluto J., Westerlund T., Huttunen P.(2008). Effect 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: 145–153.
80. Lippi G., Sanchis-Gomar F. (2019). Epidemiological, biological and clinical update on exercise-induced hemolysis. *Annals of Translational Medicine*, 7(12):270–270.
81. Lombardi G., Lanteri P., Porcelli S., Mauri C., et al. (2013). Hematological profile and martial status in rugby players during whole body cryostimulation. *PLoS One*. 2013: 8(2):e55803.
82. Lombardi G., Colombini A., Porcelli S., Mauri C., et al. (2014). Muscular damage and kidney function in rugby players after daily whole body cryostimulation. *Physiology*. 2014:1–7.
83. Lombardi G., Ziemann E., Banfi G. (2017). Whole-Body Cryotherapy in Athletes: From Therapy to Stimulation. An Updated Review of the Literature. *Frontiers in physiology*, 8: 258.
84. Louis J., Theurot D., Filliard J. R., Volondat M., et al. (2020). The use of whole-body cryotherapy: time- and dose-response investigation on circulating blood catecholamines and heart rate variability. *Eur. J. Appl. Physiol.* 120, 1733–1743
85. Lubkowska A., Szyguła Z., Chlubek D., Banfi G. (2011). The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and

- anti-inflammatory cytokines levels in healthy men. *Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation*, 71(5): 419–425.
86. Kępińska- Szyszkowska M., Szarek M., Dąbrowski Z., Szyguła Z. (2022). Whole-body cryostimulation does not disturb the homeostasis of the system in physically active men - Pilot study. *Cryobiology*. 106: 73–78.
 87. Malińska M., Młynarczyk M. (2020). Dynamic physical effort-selected issues. 32:7–13.
 88. Margaritis I., Tessier F., Richard M.J., Marconnet P. (1997). No evidence of oxidative stress after a triathlon race in highly trained competitors. *Int. J. Sports Med.*, 18, 186–190.
 89. Meeusen R, Duclos M, Foster C. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *Eur J Sport Sci*. 2013;13(1):1–24.
 90. Mendoza-Núñez V.M., Beristain-Perez A., P´erez-Vera S.P., Altamirano-Lozano M.A. (2010). Age-related sex differences in glutathione peroxidase and oxidative DNA damage in a healthy Mexican population. *J. Women’s. Health*.19(5): 919–926.
 91. Mengel L. A., Seidl H., Brandl B., Skurk T., et al.(2020). Gender Differences in the Response to Short-term Cold Exposure in Young Adults. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 105(5).
 92. Mila-Kierzenkowska C., Woźniak A., Woźniak B., Drewa G., et al. (2009). Whole-body cryostimulation in kayaker women: a study of the effect of cryogenic temperatures on oxidative stress after the exercise. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 49(2), 201–207.
 93. Miller E., Mrowicka M., Malinowska K., Mrowicki J., et al. (2010). Effects of whole-body cryotherapy on a total antioxidative status and activities of antioxidative enzymes in blood of depressive multiple sclerosis patients. *World J. Biol. Psychiatry*. 12 (3): 223-7
 94. Nash D., Hughes M.G., Butcher L., et al. (2022). IL-6 signaling in acute exercise and chronic training: Potential consequences for health and athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*. 33(1):4-19.

95. Natale V.M., Brenner I. K., Moldoveanu A. I., Vasiliou P., et al. (2003). Effects of three different types of exercise on blood leukocyte count during and following exercise. *Sao Paulo Medical Journal*, 121(1):9–14.
96. Nicklas B.J., Hackney A.C., Sharp R.L. (1989). The menstrual cycle and exercise: performance, muscle glycogen, and substrate responses. *Int J Sports Med*. 9 (10):264±269.
97. Nieman D.C., Henson D.A., Smith L.L.(2001). Cytokine changes after a marathon race. *J Appl Physiol*. 91(1):109- 114.
98. Nieman D.C., Wentz L.M. (2019). The compelling link between physical activity and the body's defense system. *Journal of Sport and Health Science*. 8(3):201-217.
99. Nikolaidis M.G., Kyparos A., Hadziioannou M., Panou N., et al. (2007). Acute exercise markedly increases blood oxidative stress in boys and girls. *Appl. Physiol. Nutr. Metab*. 32:197–205.
100. Nishi Y. (1981). Measurement of thermal balance in man. *Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort*. 1:29–39.
101. Nystoriak M.A., Bhatnagar A. (2018). Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 5:0135.
102. Oczachowska-Szafkowska S., Szafkowski R., Sobieska M. (2010). Wpływ krioterapii ogólnoustrojowej na subpopulacje limfocy- tów krwi obwodowej u chorych z reumatoidalnym zapaleniem stawów. *Acta Balneol*. 53(3): 142–150.
103. Ostrowski K, Rohde T, Asp S, Schjerling P, et al. (1999). Pro- and anti-inflammatory cytokine balance in strenuous exercise in humans. *Journal of Physiology (Lond.)*. 515:287–291.
104. Brancaccio P., Maffuli N., Limongelli F.M. (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine, *British Medical Bulletin*, 81(1); 209–230.
105. Peake J.M. (2017). Cryotherapy: Are we freezing the benefits of exercise?. *Temperature Routledge*. 10:211-213.

106. Petersen A.M.W., Pedersen B. K. (2005). The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology*.98(4):1154-1162.
107. Pilch W., Pokora I., Szyguła Z., Pałka T., et al.(2013). Effect of a single Finnish sauna session on white blood cell profile and cortisol levels in Athletes and non-athletes. *J Hum Kinet*.39:127–135.
108. Pilch W., Wyrostek J., Major P., Zuziak R., et al. (2020). The effect of whole-body cryostimulation on body composition and leukocyte expression of HSPA1A, HSPB1, and CRP in obese men. *Cryobiology*. S0011-2240(20)30049-3.
109. Poignard M., Guilhem G., de Laroche Lambert Q., Montalvan B., et al. (2020). The impact of recovery practices adopted by professional tennis players on fatigue markers according to training type clusters. *Front. Sports Act Living* 2:109.
110. Pokora I., Drzazga Z., Wyderka P., Binek M. (2023) Determination of the Effects of a Series of Ten Whole-Body Cryostimulation Sessions on Physiological Responses to Exercise and Skin Temperature Behavior following Exercise in Elite Athletes. *Journal of Clinical Medicine*. 2023; 12(19):6159.
111. Pokora I., Kempa K., Chrapusta S. J., 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.
112. Polidori G., Cuttelli S., Hammond L., Langdon D., et al.(2018). Should whole body cryotherapy sessions be differentiated between women and men? A preliminary study on the role of the body thermal resistance. *Medical Hypotheses*, 120, 60–64.
113. Polidori G., Elfahem R., Abbes B., Bogard F., et al.(2020). Preliminary study on the effect of sex on skin cooling response during whole body cryostimulation (–110 °C): Modeling and prediction of exposure durations. *Cryobiology*, 97, 12–19.
114. Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Fillard JR, et al. (2011). Time-Course of Changes in Inflammatory Response after Whole-Body Cryotherapy Multi Exposures following Severe Exercise. *PLoS One* 6: e22748.

115. Prestes J., de Ferreira CK., Dias R., (2008). Lymphocyte and cytokines after short periods of exercise. *Int J Sports Med.* 29:1010e1014.
116. Rose C., Edwards K. M., Siegler J., Graham K., et al. (2017). Whole-body Cryotherapy as a Recovery Technique after Exercise: A Review of the Literature. *International journal of sports medicine.* 38(14):1049–1060.
117. Rymaszewska J., Urbańska K., Szcześniak D., Pawłowski T., et al. (2019). Whole-body cryotherapy – promising add-on treatment of depressive disorders. *Psychiatria Polska*, 53(5), 1053–1067.
118. Schlattner U., Tokarska-Schlattner M., Wallimann T. (2013). Metabolite Channeling: Creatine Kinase Microcompartments. Lennarz W.J. and Lane M.D. (eds.) *The Encyclopedia of Biological Chemistry.* 3:80-85.
119. Schumacher Y.O., Jankovits R., Bultermann D., Schmid A., et al. (2002). Hematological indices in elite cyclists. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 12: 301–308.
120. Sen C. K., Packer L. (2000). Thiol homeostasis and supplements in physical exercise. *The American journal of clinical nutrition*, 72(2):653–69S.
121. Shaskey D.J., Green G.A. (2000). Sports Haematology. *Sports Med* 29: 27–38.
122. Simpson R.J., Kunz H., Agha N., Graff R. (2015). Molecular and cellular regulation of adaptation to exercise. In Claude Bouchard (Eds.), *Exercise and the Regulation of Immune Functions.* 5: 355–380.
123. Skrzek A., Podbielska H. (2012). *Zastosowanie niskich temperature w biomedycynie.* Oficyna Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej.
124. Soligard T., Steffen K., Palmer D., Alonso J.M., et al. (2017). Sports injury and illness incidence in the Rio de Janeiro 2016 Olympic Summer Games: a prospective study of 11274 athletes from 207 countries. *Br J Sports Med.* 51:1265–71.
125. Souissi W., Bouzid M.A., et al. (2020). Effect of Different Running Exercise Modalities on Post-Exercise Oxidative Stress Markers in Trained Athletes. *Environmental Research and Public Health*, 17,3729.

126. Spriet L. L., Howlett J., Heigenhauser J.F. (2000). An enzymatic approach to lactate production in human skeletal muscle during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32(4):756–763.
127. Stachenfeld N., Silva C., Keefe D. (2000). Estrogen modifies the temperature effects of progesterone. *J.Appl.Physiol.* 88:1643-1649.
128. Stanek A., Sieroń A. (2012). Współczesna krioterapia ogólnoustrojowa w odnowie biologicznej. *Acad. Med. Siles*, 66(4), 64–70.
129. Steensberg A., Fischer C.P., Keller C., Moller K., et al. (2003). IL-6 enhances plasma IL-1ra, IL-10 and cortisol in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003; 285: 433-437.
130. Steinberg J. G., Delliaux S., Jammes Y. (2006). Reliability of different blood indices to explore the oxidative stress in response to maximal cycling and static exercises. *Clinical physiology and functional imaging*, 26(2), 106–112.
131. Stephenson L., Kolka K. (1988). Plasma volume during heat stress and exercise in women. *Eur.J.Appl.Physiol.* 57:378-387.
132. Stocks J. M., Taylor N. A. S., Tipton M. J., Greenleaf J. E. (2004). Human Physiological Responses to Cold Exposure. *Aviation Space and Environmental Medicine.* 75(5), 444–457.
133. Straburzyńska-Lupa A., Konarska A., Nowak A., Straburzyńska-Migaj E., et al. (2007). Effect of whole-body cryotherapy on selected blood chemistry parameters in professional field hockey players. *Fizjoterapia Polska*, 7(1), 15–20.
134. 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. *Oxidative medicine and cellular longevity*. 402631.

135. Szygula Z., Lubkowska A., Giemza C., Skrzek A., et al. (2014). Hematological parameters, and hematopoietic growth factors: Epo and IL-3 in response to Whole-Body Cryostimulation (WBC) in military academy students. *PLoS ONE*, 9(4).
136. Urhausen A., Kindermann W. (2002). Diagnosis of overtraining: what tools do we have?. *Sports medicine*. 32(2), 95–102.
137. Van der Lans A. A., Hoeks J., Brans B., Vijgen G. H., et al. (2013). Cold acclimation recruits human brown fat and increases nonshivering thermogenesis. *The Journal of clinical investigation*, 123(8), 3395–3403.
138. Veneskoski M., Turunen S.P., Kummu O., Nissinen A., et al. (2011). Specific recognition of malondialdehyde and malondialdehyde acetaldehyde adducts on oxidized LDL and apoptotic cells by complement anaphylatoxin C3a. *Free Radical Biol. Med.* 2011; 51(4): 834–843.
139. Walsh N. P., Gleeson M., Shephard R. J., Jeffrey M. G., et al. (2011). Position Statement: Immune Function of Exercise. *Exercise Immunology Review*, 17, 6–63.
140. 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. *J Ther- mal Biol*, 29:285–90.
141. Wheatley, C. M., Snyder, E. M., Johnson, B. D., Olson, T. P. (2014). Sex differences in cardiovascular function during submaximal exercise in humans. *SpringerPlus*, 3(1).
142. White K, Dempsie Y, Nilsen M, Wright AF, et al. (2011). The serotonin transporter, gender, and 17beta oestradiol in the development of pulmonary arterial hypertension. *Cardiovasc Res* 90: 373–382.
143. Wojtasik, W., Szulc, A., Kołodziejczyk, M., Szulc, A. (2015). Wybrane zagadnienia dotyczące wpływu wysiłku fizycznego na organizm człowieka. *Journal of Education, Health and Sport*, 5(10), 2015-5(10):350-372.
144. Wozniak A, Mila-Kierzenkowska C, Szpinda M, Chwalbinska-Moneta J, et al. (2013). Whole-body cryostimulation and oxidative stress in rowers: the preliminary results. *Arch Med Sci.* 9(2):303-8.

145. Woźniak A., Woźniak B., Drewa G., Mila-Kierzenkowska C. (2007). The effect of whole-body cryostimulation on the prooxidant-antioxidant balance in blood of elite kayakers after training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 101 (5): 533-7.
146. Yoneshiro, T., Saito, M. (2013) Transient receptor potential activated brown fat thermogenesis as a target of food ingredients for obesity management. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 16, 625–631.
147. Young, A. J. (1996). Human Adaptations To Cold Stress. *Physiological Basis of Occupational Health: Stressful Environments*, 53–67.
148. Zagrobelny Z., Halawa B., Negrusz-Kawecka M., Spring A., et al. (1992). Hormonal and hemodynamic changes caused by whole body cooling in patients with rheumatoid arthritis. *Pol. Arch. Med. Wewn.* 87:34–40.
149. Ziemann E., Olek R.A., Grzywacz T., Kaczor J.J., et al. (2014). Whole-body cryostimulation as an effective way of reducing exercise-induced inflammation and blood cholesterol in young men. *European cytokine network*, 25(1):14–23.
150. Ziemann E., Olek R.A., Kujach S., Grzywacz T., et al. (2012). Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *Journal of Athletic Training*, 47(6):664–672.

8. Streszczenie

Porównanie wpływu serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy somatyczne, funkcjonalne i wybrane zmienne biochemiczne w spoczynku oraz w odpowiedzi na wysiłek fizyczny, u trenujących mężczyzn i kobiet

Głównym celem pracy było porównanie wpływu serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych na cechy somatyczne, funkcjonalne i wybrane zmienne biochemiczne w spoczynku oraz w odpowiedzi na wysiłek fizyczny i po jego zakończeniu, u trenujących mężczyzn i kobiet. W badaniach wzięło udział 21 biegaczy narciarskich (13 mężczyzn i 8 kobiet). Byli to zawodnicy Kadry Narodowej, reprezentujący Akademicki Związek Sportowy AWF Katowice. Eksperyment został przeprowadzony w okresie przejściowym makrocyklu treningowego. Przed rozpoczęciem doświadczenia uczestnicy zostali poddani badaniom wstępnym, w których: oceniano cechy somatyczne, wyznaczano pułap tlenowy (VO_{2max}) oraz wyznaczano indywidualnie dla każdego badanego względne obciążenie wysiłkowe wyrażone $\%VO_{2max}$, stosowane w zasadniczym wysiłku testowym. Wysiłek testowy 60-minutowy-test biegowy o stałym ustalonym obciążeniu, badani mężczyźni i kobiety wykonywali w warunkach termoneutralnych otoczenia (temp. 21–23°C, wilgotność względna 50%) dwukrotnie: przed (badanie C) i po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych (KRIO). Zabiegi (10) odbywały się raz dziennie w godzinach popołudniowych w dni robocze w Górnośląskim Centrum Medycyny i Rehabilitacji w Katowicach. Badani przez 3 minuty przebywali w kriokomorze (CR-20 model W, komora kriogeniczna), w której temperatura wynosiła -130°C.

Cechy somatyczne takie jak: masa (BM) i skład ciała (FM- masa tkanki tłuszczowej, FFM- beztłuszczowa masa ciała, TBW- całkowita zawartość wody w organizmie oceniano metodą bioimpedencji elektrycznej. Ponadto w spoczynku oraz w trakcie wykonywania wysiłku w badaniu przed i po serii KRIO rejestrowano: pobór tlenu (VO_2), współczynnik wymiany oddechowej (RER) oraz częstość skurczów serca (HR), a w ostatnich minutach wysiłku mierzono temperaturę wewnętrzną ciała (T_{wew}) i temperaturę skóry (T_{sk}) na ramieniu, klatce piersiowej i udzie. Przed testem i bezpośrednio po jego zakończeniu, w pozycji siedzącej mierzono ciśnienie tętnicze krwi (SBP, DBP). Wyliczano: średnie ciśnienie tętnicze krwi (MAP) oraz metodą kalorymetrii pośredniej, tempo procesów metabolicznych (RMR), średnią

ważoną temperaturę skóry (T_{SK}). Ponadto w spoczynku, po zakończonym wysiłku, godzinie restytucji i 24 godzinach restytucji oceniano zmienne hematologiczne (liczbę leukocytów-WBC, liczbę erytrocytów-RBC, stężenie hemoglobiny-HB, wskaźnik hematokrytu-HCT), biochemiczne (aktywność kinazy kreatynowej- CK, aktywność dehydrogenazy mleczanowej-LDH, stężenie dialdehydu malonowego- MDA) oraz cytokiny (stężenie interleukiny 6- IL-6, stężenie czynnika martwicy nowotworów-TNF-alfa oraz stężenie białka C-reaktywnego- CRP).

Po analizie otrzymanych wyników stwierdzono, iż płeć nie różnicuje istotnie zmian fizjologicznych, hematologicznych i biochemicznych ocenianych w spoczynku oraz odpowiedzi na wysiłek fizyczny i w restytucji po serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych. Po serii 10 KRIO stwierdzono jednak istotne obniżenie średniej ważonej temperatury skóry oraz liczby krwinek czerwonych i stężenia hemoglobiny we krwi w spoczynku u obu płci. Zastosowanie serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje większą redukcję zawartości tkanki tłuszczowej oraz większy wzrost aktywności kinazy kreatynowej w spoczynku u mężczyzn niż u kobiet. Ponadto w odpowiedzi na wysiłek fizyczny u mężczyzn stwierdzono istotnie większy przyrost tempa procesów metabolicznych i mniejszy przyrost aktywności kinazy kreatynowej w 24 godzinie restytucji. U kobiet natomiast zastosowanie serii 10 kriostymulacji ogólnoustrojowych powoduje istotne obniżenie stężenia dialdehydu malonowego w spoczynku oraz większy jego przyrost w godzinie restytucji po wysiłku w porównaniu z mężczyznami.

9. Summary

Comparison of the impact of a series of 10 systemic cryostimulations on somatic, functional and selected biochemical variables at rest and in response to physical exercise in training men and women

The main aim of the study was to compare the impact of a series of 10 systemic cryostimulations on somatic, functional and selected biochemical variables at rest and in response to and after physical exercise in training men and women. 21 cross-country skiers (13 men and 8 women) took part in the research. They were players of the National Team, representing the Academic Sports Association AWF Katowice. The experiment was carried out during the transition period of the training macrocycle. Before starting the experiment, the participants underwent preliminary tests in which: somatic features were assessed, the $VO_{2\max}$ was determined and the relative exercise load expressed as $\%VO_{2\max}$, used in the main test effort, was determined individually for each subject. Test effort a 60-minute running test with a constant set load was performed by the tested men and women in thermoneutral ambient conditions (temperature 21-23°C, relative humidity 50%) twice: before (test C) and after a series of 10 systemic cryostimulations (CRYO). Treatments (10) took place once a day in the afternoon on working days at the Upper Silesian Center for Medicine and Rehabilitation in Katowice. The subjects stayed in a cryochamber (CR-20 model W, cryogenic chamber) for 3 minutes, where the temperature was -130°C.

Somatic features such as: mass (BM) and body composition (FM - adipose tissue mass, FFM - lean body mass, TBW - total body water content) were assessed using the bioelectrical impedance method. Moreover, at rest and during exercise, in the study before and after the CRYO series, the following were recorded: oxygen uptake (VO_2), respiratory exchange rate (RER) and heart rate (HR), and in the last minutes of exercise, internal body temperature (T_{wew}) and skin temperature were measured (T_{sk}) on the arm, chest and thigh. Before and immediately after the test, blood pressure (SBP, DBP) was measured. Mean blood pressure (MAP) and, using indirect calorimetry, the rate of metabolic processes (RMR), weighted mean skin temperature (T_{sk}). Moreover, at rest, after the end of exercise, after one hour of restitution and after 24 hours of restitution, hematological variables (leukocyte count- WBC, erythrocyte count - RBC,

hemoglobin concentration - HB, hematocrit index - HCT), biochemical (creatine kinase activity - CK, lactate dehydrogenase activity-LDH, malondialdehyde concentration - MDA) and cytokines (interleukin 6 concentration - IL-6, tumor necrosis factor-TNF-alpha concentration and C-reactive white protein concentration - CRP). were assessed.

After analyzing the obtained results, it was found that gender does not significantly differentiate physiological, hematological and biochemical changes assessed at rest and in response to physical exercise and restitution after a series of 10 systemic cryostimulations. However, after a series of 10 CRYO treatments, a significant decrease in the weighted average skin temperature, red blood cell count and hemoglobin concentration in the blood at rest was found in both sexes. Moreover, the use of a series of 10 systemic cryostimulations results in a greater reduction in fat tissue content and a greater increase in creatine kinase activity at rest in men than in women. Moreover, in response to physical exercise, men showed a significantly greater increase in the rate of metabolic processes and a smaller increase in creatine kinase activity at 24 hours of restitution. In women, however, the use of a series of 10 systemic cryostimulations causes a significant decrease in the concentration of malondialdehyde at rest and a greater increase during the hour of restitution after exercise compared to men.

10. Wykaz tabel i rycin

TABELA 1. CECHY ANTROPOMETRYCZNE BADANYCH.	21
TABELA 2. TEST WYSIŁKOWY WSTĘPNY- OCENIANE WSKAŹNIKI.	23
TABELA 3. ZMIENNE FIZJOLOGICZNE OCENIANE W SPOCZYNKU PRZED I PO SERII 10 KRIO U MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ.	24
TABELA 4. MARKERY BIOCHEMICZNE OCENIANE W SPOCZYNKU PRZED I PO SERII KRIO U MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ.	31
TABELA 5. ZMIENNE HEMATOLOGICZNE I KRWINKI BIAŁE OCENIANE W SPOCZYNKU PRZED I PO SERII KRIO U MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ.	35
TABELA 6. WYBRANE MARKERY ZAPALNE OCENIANE W SPOCZYNKU PRZED I PO SERII KRIO U MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ.	40
RYCINA 1. OGÓLNY SCHEMAT PROCEDURY BADAWCZEJ.	16
RYCINA 2. SEGMENTALNA SZCZUPŁOŚĆ- ROZMIESZCZENIE BEZTŁUSZCZOWEJ MASY CIAŁA U BADANYCH W BADANIU PRZED (BADANIE C) I PO KRIO. WARTOŚCI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	22
RYCINA 3. STANDARYZOWANY NA WARTOŚCI PRZED KRIO PRZYROST POBORU TLENU (VO_2) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST POBORU TLENU (ΔVO_2) W BADANIU PRZED (C) I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	25
RYCINA 4. STANDARYZOWANY NA WARTOŚCI PRZED KRIO PRZYROST TEMPA PROCESÓW METABOLICZNYCH (RMR) PO KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST TEMPA PROCESÓW METABOLICZNYCH W BADANIU PRZED (C) I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	26
RYCINA 5. STANDARYZOWANY NA WARTOŚCI PRZED KRIO PRZYROST CZĘSTOŚCI SKURCZÓW SERCA (HR) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST CZĘSTOŚCI SKURCZÓW SERCA (ΔHR) W BADANIU PRZED (C) I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	27
RYCINA 7. STANDARYZOWANY NA WARTOŚCI PRZED KRIO PRZYROST TEMPERATURY WEWNĘTRZNEJ (T _{WEW}) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST TEMPERATURY WEWNĘTRZNEJ (ΔT_{WEW}) W BADANIU PRZED (C) I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	29
RYCINA 8. STANDARYZOWANY NA WARTOŚCI PRZED KRIO PRZYROST ŚREDNIEJ WAŻONEJ TEMPERATURY SKÓRY (T _{SK}) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST ŚREDNIEJ TEMPERATURY SKÓRY (ΔT_{SK}) W BADANIU PRZED (C) I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO ŚREDNIA ± ODCHYLENIE STANDARDOWE.	30
RYCINA 9. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST AKTYWNOŚCI KINAZY KREATYNOWEJ (CK) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST AKTYWNOŚCI KINAZY KREATYNOWEJ (ΔCK) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	32
RYCINA 10. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST AKTYWNOŚCI DEHYDROGENAZY MLECZANOWEJ (LDH) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (A); WYSIŁKOWY PRZYROST AKTYWNOŚCI DEHYDROGENAZY MLECZANOWEJ (ΔLDH) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIEŹ (B); WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	33

RYCINA 11. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST STĘŻENIA DIALDEHYDU MALONOWEGO (MDA) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST STĘŻENIA DIALDEHYDU MALONOWEGO (Δ MDA) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	34
RYCINA 12. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST LICZBY LEUKOCYTÓW (WBC) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST LICZBY LEUKOCYTÓW (Δ WBC) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	36
RYCINA 13. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST LICZBY ERYTROCYTÓW (RBC) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST LICZBY ERYTROCYTÓW WE KRWI (Δ RBC) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	37
RYCINA 14. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST STĘŻENIA HEMOGLOBINY (HB) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST STĘŻENIA HEMOGLOBINY (Δ HB) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WYNIKI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	38
RYCINA 16. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST STĘŻENIA INTERLEUKINY 6 (IL-6) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST STĘŻENIA INTERLEUKINY 6 WE KRWI (Δ IL-6) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WARTOŚCI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	41
RYCINA 17. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST STĘŻENIA CZYNNIKA MARTWICY NOWOTWORÓW (TNF-ALFA) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); WYSIŁKOWY PRZYROST STĘŻENIA CZYNNIKA MARTWICY NOWOTWORÓW WE KRWI (Δ TNF-ALFA) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WARTOŚCI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	42
RYCINA 18. STANDARYZOWANY NA SPOCZYNEK PRZED KRIO PRZYROST BIAŁKA C-REAKTYWNEGO (CRP) PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (A); POWYSIŁKOWY PRZYROST STĘŻENIE BIAŁKA C-REAKTYWNEGO WE KRWI (Δ CRP) PO WYSIŁKU, PO GODZINIE RESTYTUCJI I 24 GODZINACH RESTYTUCJI PRZED I PO SERII KRIO U BADANYCH MĘŻCZYŹN I KOBIET (B). WARTOŚCI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO WARTOŚCI PRZEDSTAWIONE SĄ JAKO MEDIANA I 25-75 PERCENTYL.	43