

Zmiany parametrów kurczliwości mięśnia sercowego u osób zdrowych po jednym zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Changes of the heart muscle contractility in healthy persons after single whole-body cryostimulation procedure

Paweł Zalewski¹, Jacek J. Klawe¹, Joanna Pawlak¹, Małgorzata Tafil-Klawe², Anna Bitner¹, Andrzej Lewandowski³

¹ Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz, tel. +48 52 585 35 61, e-mail: p.zalewski@cm.umk.pl

² Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Karłowicza 24, 85-092 Bydgoszcz

³ Katedra i Zakład Podstaw Kultury Fizycznej, Collegium Medicum im. Ludwika Rydygiera w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Świętojańska 20, 85-077 Bydgoszcz

Streszczenie

Celem pracy była analiza wpływu krioterapii ogólnoustrojowej na układ sercowo-naczyniowy, w szczególności na parametry kurczliwości mięśnia sercowego. Badania przeprowadzono na grupie 32 zdrowych mężczyzn, poddanych jednokrotnemu zabiegowi krioterapii ogólnoustrojowej. Ocenę czynnościową układu sercowo-naczyniowego przeprowadzono za pomocą systemu *Task Force® Monitor* (TFM). Rejestrację badanych sygnałów biologicznych rozpoczęto przed zabiegiem krioterapii ogólnoustrojowej i kontynuowano w czasie sześciu godzin po jego zakończeniu. Analiza statystyczna uzyskanych wyników wykazała istotny wpływ zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej na parametry kurczliwości mięśnia sercowego.

Słowa kluczowe: kriostymulacja ogólnoustrojowa, kurczliwość mięśnia sercowego, układ sercowo-naczyniowy, autonomiczny układ nerwowy, kardiografia impedancyjna

Abstract

The aim of the study was the assessment of the influence of the whole-body cryostimulation (WBC) on the cardiovascular system, in particular, on the parameters of the heart contractility. The study included 32 healthy men subjected to a single whole-body cryotherapy procedure. The functional evaluation of the cardiovascular system was carried out on the basis of *Task Force® Monitor* (TFM). The registration of biological signals was done before the procedure and continued within six hours after WBC. The statistical analysis of the results revealed that the whole-body cryostimulation causes significant changes in the parameters of the heart.

Key words: whole-body cryostimulation, heart muscle contractility, cardiovascular system, autonomic nervous system, impedance cardiography

Wstęp

Kriostymulacja i krioterapia są często stosowanymi fizykalnymi metodami terapeutycznymi. Oddziaływanie skrajnie niskich temperatur (poniżej -100°C) w krótkim czasie (2–3 minuty) na powierzchnię ciała w celu wywołania fizjologicznych ustrojowych reakcji na zim-

no wykorzystywane jest w terapii oraz odnowie biologicznej [1, 2]. Krioterapię ogólnoustrojową najczęściej stosuje się w leczeniu przewlekłych zmian narządu ruchu o etiologii przeciążeniowo-zwyrodnieniowej i autoimmunologicznej, obniżaniu napięcia nerwowego w chorobach o podłożu neurodegeneracyjnym, w przypadku lekkich stanów depresyjno-lękowych i zaburzeń nastroju, jak również w sportowej odnowie biologicznej [3, 4].

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele wartościowych opracowań naukowych na temat kriostymulacji i krioterapii ogólnoustrojowej, spełniających kryteria dotyczących badań prowadzonych w oparciu o zasady *Evidence Based Medicine* (medycyny opartej na faktach) [5–9].

Za miarę kurczliwości serca przyjmuje się taką wartość siły skurczu mięśnia sercowego, jaką może on generować w skurczu całkowicie izometrycznym. Do parametrów kurczliwości zalicza się m.in. wskaźnik kurczliwości (IC – *Index of Contractility*), wskaźnik przyspieszenia (ACI – *Acceleration Index*) oraz wskaźnik Heather'a (HI – *Heather's Index*). Wskaźnik kurczliwości odzwierciedla maksymalny przepływ krwi podczas wyrzutu przez lewą komorę, wskaźnik przyspieszenia – maksymalne przyspieszenie przepływu krwi w aorcie, a wskaźnik Heather'a czas, w którym komora osiąga maksymalną siłę skurczową (maksymalny wyrzut). Autonomiczny układ nerwowy wpływa na siłę skurczu serca. Nerw błędny (układ przywspółczulny) zmniejsza siłę skurczu przedsionków, natomiast układ współczulny zwiększa siłę skurczu przedsionków i komór [10–12].

Celem pracy jest ocena wpływu zabiegu krioterapii ogólnoustrojowej na układ sercowo-naczyniowy, zwłaszcza na parametry kurczliwości mięśnia sercowego.

Materiał i metody

Badana grupa

Grupa badawcza składała się z 32 losowo wybranych ochotników (tylko mężczyzn). Kryteria kwalifikacji do badań, poza wyrażeniem dobrowolnej zgody na udział w badaniu, stanowiły: płeć, brak przeciwwskazań do zabiegu krioterapii ogólnoustrojowej oraz brak dolegliwości ze strony autonomicznego układu nerwowego w trakcie badania lekarskiego. Kryteriami wykluczenia z udziału w eksperymencie badawczym były: choroba, zaburzenie czynności krążenia lub autonomicznego układu nerwowego, a także zdiagnozowane podczas badania podmiotowe i przedmiotowe dolegliwości ze strony tych układów. Podstawowe dane opisowe badanej grupy przedstawiono w tabeli 1.

Zabieg kriostymulacji ogólnoustrojowej (ZKO)

Osoby badane poddano jednokrotnemu zabiegowi kriostymulacji ogólnoustrojowej (ZKO) w kriokomorze działającej w systemie kaskadowym sprężarkowego układu chłodniczego, składającej się z dwóch przedsionków (pierwszy ok. -10°C , drugi ok. -60°C) i komory właściwej (od -110°C do -120°C). Badani przebywali w komorze właściwej 3 minuty w temperaturze -115°C . Przed zabiegiem oraz do momentu zakończenia badania osoby badane umieszczono w klimatyzowanym pomieszczeniu o stałej temperaturze i wilgotności.

System Task Force® Monitor (TFM)

Pomiar właściwości elektromechanicznych i kurczliwości przeprowadzono za pomocą systemu *Task Force® Monitor* (TFM) model 3040i firmy CNSystems (CNSystems Medizintechnik) (rys. 1). System składa się z następujących elementów:

- urządzenia do ciągłego pomiaru ciśnienia krwi (contBP),
- 3-kanalowego elektrokardiografu – EKG,
- kardiografu impedancyjnego – IKG,
- urządzenia do oscylometrycznego pomiaru ciśnienia krwi oscBP (*oscillometric Blood Pressure*).



Rejestracji sygnałów biologicznych dokonano dwukrotnie, tj. bezpośrednio przed wejściem do kriokomory (01) oraz w czasie nie dłuższym niż 15 minut po ekspozycji na czynnik kriogeniczny (02). Wszystkie sygnały biologiczne rejestrowano w sposób całkowicie nieinwazyjny.

Wszystkie elementy wspomagane są przez zintegrowany system komputerowy. Każdy z nich, poza urządzeniem oscBP, rejestruje sygnały biologiczne w trybie *beat-to-beat*. Równoczesne zestawienie sygnałów EKG, IKG, oscBP i contBP (*continuous Blood Pressure*) mierzonych przez system TFM pozwala ocenić parametry czynnościowe układu sercowo-

Rys. 1 Widok ogólny systemu pomiarowego Task Force® Monitor

Tabela 1 Charakterystyka ogólna badanej grupy

Cecha	Charakterystyka badanej grupy (n = 32) 100% mężczyźni	
	Średnia	Odchylenie standardowe (SD)
Wiek, lata	31,78	6,63
Wysokość ciała [m]	1,80	0,05
Masa ciała [kg]	82,19	9,26
Wskaźnik masy ciała BMI [kg/m ²]	25,44	3,00
Wskaźnik powierzchni ciała [m ²]	2,04	0,01
Skurczowe ciśnienie krwi – sBP spoczynkowe [mm Hg]	119,49	7,43
Rozkurczowe ciśnienie krwi – dBP spoczynkowe [mm Hg]	75,15	5,21

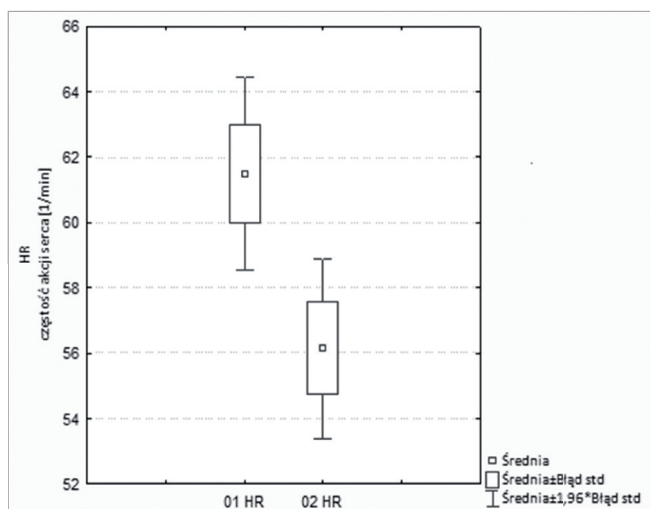
wo-naczyniowego. Analizie poddano następujące parametry: częstość akcji serca (HR – *Heart Rate*) [n/1]; skurczowe ciśnienie krwi (sBP – *systolic Blood Pressure*) [mm Hg], rozkurczowe ciśnienie krwi (dBP – *diastolic Blood Pressure*) [mm Hg], średnie ciśnienie tętnicze krwi (mBP – *mean Blood Pressure*) [mm Hg]; objętość wyrzutowa serca (SV – *Stroke Volume*) [ml]; pojemność minutowa serca (CO – *Cardiac Output*) [l/min]; wskaźnik późnorozkurczowy (EDI – *End-Diastolic Index*) [ml/m²]; wskaźnik kurczliwości (IC – *Index of Contractility*) [1000/s]; wskaźnik przyspieszenia (ACI – *Acceleration Index*) [100/s²]; czas wyrzutu lewej komory serca (LVET – *Left Ventricular-Ejection Time*) [ms]; czas przedwyrzutowy (PEP – *Pre-Ejection Period*) [ms]; współczynnik wyrzutu

Tabela 2 Statystyki podstawowe wraz z wartością p zmian wybranych parametrów hemodynamicznych: HR, sBP, dBP, mBP, SV, CO; przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)

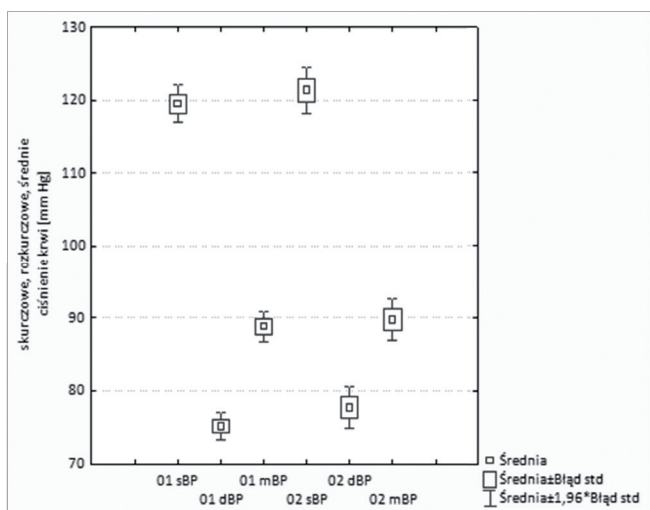
	średnia	mediana	min.	maks.	SD	p
01 HR	61,50	62,35	46,97	83,99	8,54	0,0000
02 HR	56,15	55,44	40,81	80,63	7,96	
01 sBP	119,49	119,34	107,54	135,17	7,43	0,1396
02 sBP	121,38	118,92	109,70	142,03	9,07	
01 dBP	75,15	75,04	64,30	85,92	5,21	0,0396
02 dBP	77,73	77,12	59,77	98,38	8,23	
01 mBP	88,81	87,96	80,10	103,11	5,99	0,3794
02 mBP	89,78	87,63	71,12	110,81	8,48	
01 SV	103,58	110,32	65,26	145,29	21,74	0,0033
02 SV	108,78	110,90	66,65	149,14	19,61	
01 CO	6,32	6,60	3,83	9,36	1,42	0,0888
02 CO	6,06	6,00	4,06	9,49	1,33	

Tabela 3 Statystyki podstawowe wraz z wartością p zmian wybranych parametrów kurczliwości mięśnia sercowego: EDI, IC, ACI, LVET, PEP, STR, ER, HI; przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)

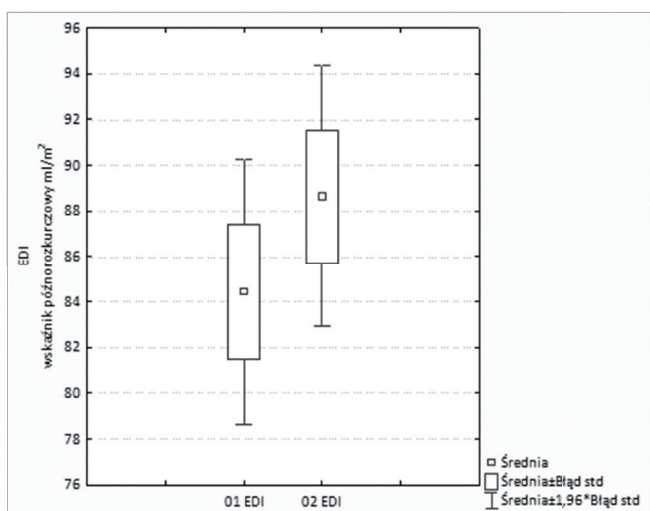
	średnia	mediana	min.	maks.	SD	p
01 EDI	84,45	86,69	51,71	109,96	16,82	0,0008
02 EDI	88,64	89,90	51,73	112,49	16,44	
01 IC	58,68	60,50	27,01	87,23	17,49	0,1664
02 IC	60,07	61,54	27,25	92,16	16,40	
01 ACI	80,23	77,87	42,69	141,93	24,46	0,0286
02 ACI	84,92	84,17	36,32	147,15	26,15	
01 LVET	315,29	314,98	269,55	349,67	17,64	0,0000
02 LVET	326,70	326,80	271,78	346,86	15,37	
01 PEP	111,96	111,24	84,77	131,82	13,26	0,0029
02 PEP	117,04	116,12	96,15	136,37	10,48	
01 STR	35,79	35,77	25,11	43,60	4,90	0,7648
02 STR	36,05	35,56	28,68	45,78	3,91	
01 ER	32,10	32,36	25,45	37,58	3,40	0,0001
02 ER	30,22	30,32	23,24	37,07	3,36	
01 HI	0,32	0,32	0,14	0,49	0,10	0,5939
02 HI	0,32	0,32	0,15	0,56	0,10	



Rys. 2 Wykres pudełkowy zmian wartości częstości akcji serca (HR) zarejestrowanych przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)



Rys. 3 Wykres pudełkowy zmian wartości skurczowego, rozkurczowego i średniego ciśnienia krwi (sBP, dBP, mBP) zarejestrowanych przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)



Rys. 4 Wykres pudełkowy zmian wartości wskaźnika późnorozkurczowego (EDI) zarejestrowanych przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)

(ER – Early Ejection) [%]; wskaźnik czasu skurczu (STR – Systolic Time Ratio) [%] oraz wskaźnik Heather'a (HI – Heather's Index) [1/s²] [13–15].

Analizę zmian parametrów hemodynamicznych badanych osób przeprowadzono za pomocą testu kolejności par Wilcoxon. Normalność rozkładu analizowanych zmiennych przeprowadzono za pomocą testu Shapiro-Wilka. Wszystkie testy przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Do analizy statystycznej wykorzystano program Statistica 9.1.

Wyniki

Stwierdzono, że na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ występują istotne statystycznie różnice w zakresie ocenianych parametrów hemodynamicznych. ZKO wpłynął na wystąpienie istotnie statystycznego spadku częstości akcji serca (HR): $HR_{01} = 61,50 \pm 8,54$, $HR_{02} = 56,15 \pm 7,96$ ($p < 0,01$; tabela 2, rys. 2). Spadkowi częstości akcji serca towarzyszył wzrost objętości wyrzutowej serca (SV) w stosunku do pomiarów przeprowadzonych przed ekspozycją: $SV_{01} = 103,58 \pm 21,74$, $SV_{02} = 108,78 \pm 19,61$ ($p < 0,01$; tabela 2). Nie zarejestrowano zmian pojemności minutowej serca (CO): $CO_{01} = 6,32 \pm 1,42$, $CO_{02} = 6,06 \pm 1,33$ ($p > 0,05$; tabela 2). Po ZKO zaobserwowano istotny statystycznie ($p < 0,05$) wzrost wartości ciśnienia rozkurczowego krwi (dBP): $dBP_{01} = 75,15 \pm 5,21$, $dBP_{02} = 77,73 \pm 8,23$ (tabela 2, rys. 3). Zarejestrowane zmiany wartości ciśnienia krwi skurczowego (sBP) oraz średniego (mBP) były nieznaczne ($p > 0,05$). Wartości zarejestrowanych parametrów ciśnienia krwi kształtowały się następująco: $sBP_{01} = 119,49 \pm 7,43$, $mBP_{01} = 88,81 \pm 5,99$; $sBP_{02} = 121,38 \pm 9,07$, $mBP_{02} = 89,78 \pm 8,48$ (tabela 2, rys. 3).

Na podstawie analizowanych zmian parametrów kurczliwości i funkcji komór serca po ZKO wykazano, że występują istotne statystycznie różnice po między średnimi wartościami niektórych zarejestrowanych parametrów (tabela 3).

Wykazano, że ZKO nie spowodował istotnych zmian parametrów opisujących stan inotropii mięśnia sercowego ($p > 0,05$), takich jak: wskaźnik kurczliwości (IC), wskaźnik dodatniej inotropii serca – wskaźnika Heather'a (HI): $IC_{01} = 58,68 \pm 17,49$, $HI_{01} = 0,32 \pm 0,10$; oraz $IC_{02} = 60,07 \pm 16,40$, $HI_{02} = 0,32 \pm 0,10$. Zaobserwowano jednak istotne statystycznie zmiany wartości wskaźnika przyspieszenia (ACI) ($p < 0,05$): $ACI_{01} = 80,23 \pm 24,46$ i $ACI_{02} = 84,92 \pm 26,15$ (tabela 3, rys. 6, 7).

Zaobserwowano także wiele istotnych zmiany w zakresie parametrów opisujących fazę obciążenia wstępnego mięśnia sercowego (preload). Statystycznie istotne zmiany ($p < 0,05$) dotyczyły parametrów, takich jak: wskaźnik późnorozkurczowy (EDI); czas wyrzutu lewej komory (LVET), czas przedwyrzutowy lewej komory serca (PEP) oraz współczynnik wyrzutowy lewej komory serca (ER): $EDI_{01} = 84,45 \pm 16,82$, $LVET_{01} = 315,29 \pm 17,64$, $PEP_{01} = 111,96 \pm 13,26$, $ER_{01} = 32,10 \pm 3,40$ oraz $EDI_{02} = 88,64$, $LVET_{02} = 326,70 \pm 15,37$, $PEP_{02} = 117,04 \pm 10,48$, $ER_{02} = 30,22 \pm 3,36$ (tabela 3, rys. 4, 5).

Przeciwnie zmiany parametrów PEP i LVET przełożyły się na brak istotnych statystycznie zmian wskaźnika czasu skurczu (STR) ($p > 0,05$): $STR_{01} = 35,79 \pm 4,91$ i $STR_{02} = 36,05 \pm 3,91$ (tabela 3).

Dyskusja

Dotychczasowe randomizowane i obiektywizowane badania wykazały, że zabiegi kriostymulacji i krioterapii ogólnoustrojowej powodują istotne zmiany równowagi termicznej organizmu, co skutkuje aktywacją reakcji termoregulacyjnych oraz moduluje czynność układu sercowo-naczyniowego i autonomicznego układu nerwowego [10–12].

Reakcje autonomiczne, zwłaszcza krótkoczasowa regulacja sercowo-naczyniowa, stanowią zasadnicze mechanizmy odpowiedzi organizmu na stymulujące działanie bodźców fizykalnych.

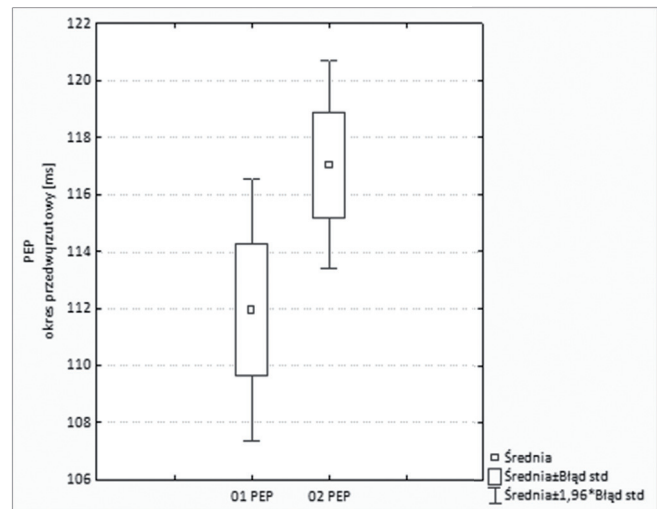
Doniesienia naukowe na temat analizy zmian parametrów biochemicznych krwi pod wpływem krioterapii i kriostymu-

lacji ogólnoustrojowej nie są jednoznaczne, a czasami wręcz sprzeczne. Analiza biochemiczna jest również niewystarczająca w ocenie krótkoczasowego obciążenia układu sercowo-naczyniowego pod wpływem bodźca kriogenicznego [3, 5, 6, 16].

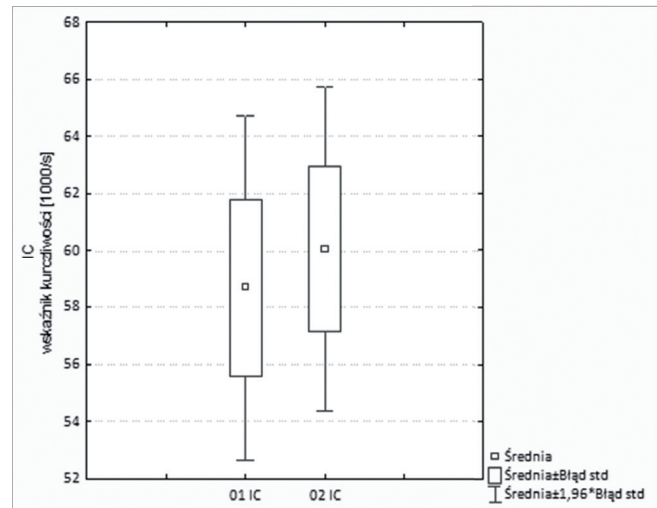
Intensywne wychłodzenie powłok skórnych na skutek oddziaływania bodźca kriogenicznego u osób zdrowych powoduje centralizację wychłodzonej krwi obwodowej, a tym samym wzmożenie powrotu żylnego. Zwiększona zawartość krwi w dużych naczyniach wpływa na istotny wzrost objętości wyrzutowej serca. Jednocześnie rejestruje się spadek częstości akcji serca. Napływ wychłodzonej krwi obwodowej powoduje zwolnienie pracy układu bódźco-przewodzącego serca w strefie przedsionkowo-węzłowej, co skutkuje wydłużeniem czasu przewodzenia przedsionkowo-komorowego, który wywiera ujemny dromotropowy wpływ na węzeł zatokowo-predsionkowy. Spadek temperatury wewnętrznej został przedstawiony przez autorów we wcześniejszej publikacji [10]. Wzmoczone wypełnianie dużych naczyń, w tym łuku aorty i zatok tętnicy szyjnej, wywiera silnie modulujący wpływ na czynność baroreceptorów tętniczych, które poprzez włókna przywspółczulne wywierają dodatkowo ujemny chronotropowy wpływ na mięsień sercowy. Wzmoczona zawartość płynów w klatce piersiowej powoduje wzrost napływu krwi do serca i istotnie wpływa na wydłużenie czasu trwania skurczu i spowolnienie akcji serca. Jest zatem konsekwencją wydłużenia czasu trwania pojedynczego cyklu pracy serca [11, 12, 17, 18].

Znanym zjawiskiem fizjologicznym jest modulujący wpływ układu współczulnego na siłę skurczu mięśnia sercowego (stan inotropii kardiomiocytów). Analiza zarejestrowanych zmian parametrów kurczliwości mięśnia sercowego wykazała, że ZKO wpłynął istotnie statystycznie na wskaźnik przyspieszenia, natomiast nie zaobserwowano zmian w zakresie wskaźnika kurczliwości oraz wskaźnika Heather'a. Wzmoczony powrót żylny w istotny sposób przełożył się na zmiany parametrów opisujących obciążenia wstępne, tj. EDI, PEP, LVET i ER. Zgodnie z prawem Franka-Starlinga wzrost obciążenia wstępnego skutkuje wzmocnieniem dodatniej inotropii mięśnia sercowego. Statystycznie istotny wzrost wartości ACI potwierdza to założenie. Żastanawiający jest brak zmian innych parametrów, w tym wskaźnika dodatniej inotropii mięśnia sercowego – wskaźnika Heather'a. Być może zostało to spowodowane intensywną stymulacją przywspółczulną mięśnia sercowego, a tym samym wyhamowaniem dodatniego wpływu układu współczulnego na stan inotropii mięśnia sercowego.

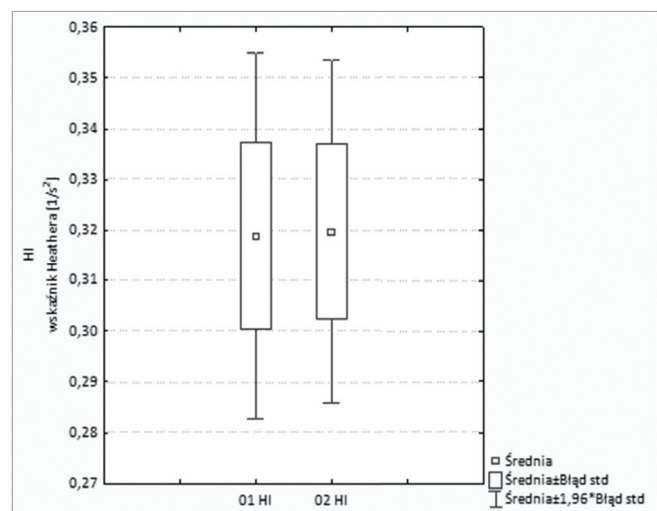
Opisane w pracy mechanizmy oraz doniesienia innych autorów potwierdzają występowanie bardzo silnej autonomicznej stymulacji układu sercowo-naczyniowego na skutek kriostymulacji ogólnoustrojowej. Niekorzystnym zjawiskiem są niewątpliwie gwałtowne zmiany heterogeniczności pobudzeń mięśnia sercowego, które pojawiają się wraz ze zmiennie występującą stymulacją współczulną i przywspółczulną. Przedstawione wyniki dotyczą zdrowych i młodych osób, u których nie stwierdzono żadnych zaburzeń czynnościowych w obrębie układu sercowo-naczyniowego. Obserwowane mechanizmy kompensacyjne układu sercowo-naczyniowego w pełni zrównoważyły zmiany zachodzące pod wpływem bodźca kriogenicznego. Wskazane jest ostrożne aplikowanie tego rodzaju zabiegów u osób z rozpoznanymi chorobami przewlekłymi, a także przejściowymi zaburzeniami czynnościowymi układu sercowo-naczyniowego, szczególnie mięśnia sercowego. Gwałtowne zmiany heterogeniczności pobudzeń mięśnia sercowego stanowią zagrożenie nie tylko dla osób chorych, lecz także zdrowych [19–21]. Zabiegi kriostymulacji ogólnoustrojowej nie mogą być traktowane jako zupełnie bezpieczna i „przyjemna” forma terapii czy odnowy biologicznej. Osoby odpowiedzialne za tworzenie wytycznych do tej formy zabiegów powinny uwzględnić doniesienia naukowe oparte na nowoczesnych i obiektywnych badaniach czynnościowych przeprowadzonych na randomizowanych grupach w warunkach prawidłowych, a następnie odnosić je do szczególnych grup osób chorych. ■



Rys. 5 Wykres pudełkowy zmian wartości okresu przedwyrzutowego serca (PEP) przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)



Rys. 6 Wykres pudełkowy zmian częstości akcji serca zarejestrowanych przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)



Rys. 7 Wykres pudełkowy zmian częstości akcji serca zarejestrowanych przed zabiegiem (01) i po zabiegu w kriokomorze (02)

Literatura

1. D. Biały, K. Zimmer, A. Skrzek, Z. Zagrobelny: *Komora kriogeniczna – możliwości krioterapii w rehabilitacji*, Balneol Pol, vol. 40(3-4), 1998, s. 44-47.
2. Z. Zagrobelny: *Lecznicze zastosowanie zimna*, [w:] Z. Zagrobelny (red.): *Krioterapia miejscowa i ogólnoustrojowa*, Urban & Partner, Wrocław 2003, s. 5-14.
3. A. Sieroń, G. Cieślak: *Krioterapia – leczenie zimnem*, α -medica Press, Bielsko-Biała 2007.
4. T. Yamauchi: *Whole-body cryotherapy is a method of extreme cold -175°C treatment initially used for Rheumatoid Arthritis*, Z Phys Med Baln Med Klin, vol. 15, 1986, s. 311-313.
5. A. Stanek, G. Cieślak, L. Jagodziński, B. Skrzep-Poloczek, E. Romuk, B. Matyszkiewicz i in.: *Wpływ krioterapii ogólnoustrojowej na organizm pacjentów z zeszywniającym zapaleniem stawów kregostupa – podsumowanie badań własnych*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 12, 2006, s. 277-280.
6. G. Banfi, G. Lombardi, A. Colombini, G. Melegati: *Whole-body cryotherapy in athletes*, Sports Med, vol. 40, 2010, s. 509-517.
7. A.T. Klimek, A. Lubkowska, Z. Szyguła, B. Frączek, M. Chudecka: *The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power*, Int J Occup Med Environ Health, vol. 24, 2011, s. 184-191.
8. A. Lubkowska, Z. Szyguła, D. Chlubek, G. Banfi: *The effect of prolonged whole-body cryostimulation treatment with different amounts of sessions on chosen pro- and anti-inflammatory cytokines levels in healthy men*, Scand J Clin Lab Invest, vol. 71, 2011, s. 419-425.
9. A. Lubkowska, Z. Szyguła: *Changes in blood pressure with compensatory heart rate decrease and in the level of aerobic capacity in response to repeated whole-body cryostimulation in normotensive, young and physically active men*, Int J Occup Med Environ Health, vol. 23, 2010, s. 367-375.
10. P. Zalewski, J.J. Klawe, M. Tafil-Klawe, P. Weber, K. Buszko, A. Lewandowski: *Ocena wpływu jednorazowego zabiegu krioterapii ogólnoustrojowej na wybrane parametry hemodynamiczne i procesy termoregulacji u osób zdrowych*, Acta Balneol, vol. 53, 2011, s. 204-205.
11. T. Westerlund, J. Smolander, A. Uusitalo-Koskinen, M. Mikkelsen: *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110°C) in men and women*, J Therm Biol, vol. 29, 2004, s. 285-290.
12. J.M. Stocks, N.A. Taylor, M.J. Tipton, J.E. Greenleaf: *Human physiological responses to cold exposure*, Aviat Space Environ Med, vol. 75, 2004, s. 444-457.
13. J. Fortin, W. Habenbacher, R. Gruellenberger, P. Wach, F. Skrabal: *Real time monitor for hemodynamic beat-to-beat parameters and power spectra analysis of biosignals*, Proceedings of the 20th annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Hong Kong 1998.
14. J. Fortin, Th. Klingler, Ch. Wagner, H. Sterner, Ch. Madritsch, R. Grullenberger i in.: *The Task Force Monitor – a non-invasive beat-to-beat monitor for hemodynamic and autonomic function of the human body*, Proceedings of the 20th annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Hong Kong 1998.
15. J. Fortin, W. Marte, R. Grullenberger: *Continuous non-invasive blood pressure monitoring using concentrically interlocking control loops*, Comput Biol Med, vol. 36, 2006, s. 941-957.
16. E.S. Potkanowicz, N. Caine-Bish, R. Otterstetter, E.L. Glickman: *Age effects on thermal, metabolic, and perceptual responses to acute cold exposure*, Aviat Space Environ Med, vol. 74, 2003, s. 1157-1162.
17. S. Komulainen, T. Oja, H. Rintamäki, H. Virokannas, S. Keinänen-Kiukaanniemi: *Blood pressure and thermal responses to whole body cold exposure in mildly hypertensive subjects*, J Therm Biol, vol. 29, 2004, s. 851-856.
18. S. Komulainen, T. Tahtinen, H. Rintamäki, H. Virokannas, S. Keinänen-Kiukaanniemi: *Blood pressure responses to whole-body cold exposure: effect of carvedilol*, Eur J Clin Pharmacol, vol. 56, 2000, s. 637-642.
19. L. Mouro, C. Cluzeau, J. Regnard: *Physiological assessment of a gaseous cryotherapy device: thermal effects and changes in cardiovascular autonomic control*, Ann Readapt Med Phys, vol. 50, 2007, s. 2209-2217.
20. J. Weisser, J. Martin, E. Bisping, L.S. Maier, F. Beyersdorf, G. Hasenfuss, B. Pieske: *Influence of mild hypothermia on myocardial contractility and circulatory function*, Basic Res Cardiol, vol. 96, 2001, s. 198-205.
21. K. Yamamoto, S. Iwase, T. Mano: *Responses of muscle sympathetic nerve activity and cardiac output to the cold pressor test*, Jpn J Physiol, vol. 42, 1992, s. 239-252.

otrzymano / received: 14.11.2011
poprawiono / corrected: 30.11.2011
zaakceptowano / accepted: 02.12.2011