

Ocena odruchu z baroreceptorów tętniczych po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej u osób zdrowych

Arterial baroreflex response to whole-body cryotherapy in healthy subjects

Paweł Zalewski¹, Jacek J. Klawe¹, Małgorzata Tafil Klawe², Katarzyna Buszko³, Izabela Panowicz⁴

¹Katedra i Zakład Higieny i Epidemiologii, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. M. Skłodowskiej-Curie 9, 85-094 Bydgoszcz, tel. +48 52 585 34 85, e-mail: p.zalewski@cm.umk.pl

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

³Katedra Podstaw Teoretycznych Nauk Biomedycznych i Informatyki Medycznej, Zakład Teorii Układów Biomedycznych, Collegium Medicum w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, ul. Jagiellońska 13, 85-067 Bydgoszcz

⁴Klinika Uzdrawiskowa „Pod Tęźniami” im. Jana Pawła II, ul. Warzelniana 7, 87-720 Ciechocinek

Streszczenie

Krioterapia ogólnoustrojowa (*whole-body cryotherapy* – WBC) jest powszechnie stosowaną metodą terapeutyczną w leczeniu dysfunkcji układu ruchu lub układu nerwowego oraz w odnowie biologicznej. Celem niniejszych badań była ocena zmian odruchu z baroreceptorów tętniczych pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u osób zdrowych.

Badaniami objęto grupę 25 zdrowych mężczyzn, którzy przebywali 3 minuty w kriokomorze w temperaturze około -110 °C. Poza parametrami hemodynamicznymi oceniono parametry oceniające reaktywność baroreceptorów tętniczych metodą sekwencyjną, m.in.: *up-events slope mean* – w zakresie sekwencji narastających, *down-events slope mean* – w zakresie sekwencji malejących, *total events slope mean* – wartość całkowita sekwencji. Rejestrację parametrów hemodynamicznych przeprowadzono dwukrotnie: przed (01) i po (02) po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej za pomocą systemu Task Force® Monitor firmy CNSystems. Badania wykonano zgodnie z kryteriami oceny czynnościowej autonomicznego układu nerwowego.

Po ekspozycji na temperatury kriogeniczne, poza zmianami parametrów hemodynamicznych, zarejestrowano istotny wzrost czułości odruchu z baroreceptorów tętniczych, zarówno w zakresie sekwencji malejących, jak i narastających. Wzmocniona odpowiedź z baroreceptorów tętniczych na skutek działania temperatur kriogenicznych najprawdopodobniej była efektem wzmoczonego powrotu żylnego i poziomu wypełniania komór, co skutkowało również zwiększoną objętością wyrzutową serca (SV – *stroke volume*).

Słowa kluczowe: krioterapia, baroreceptory tętnicze, hemodynamika, autonomiczny układ nerwowy

Abstract

Whole-body cryotherapy (WBC) is a one of well known physical therapy methods. The assessment of arterial baroreceptors activity after exposure to the whole-body cryotherapy in healthy subject, is presented.

Twenty five healthy subjects were exposed to 3-minute whole-body cryotherapy procedure (-110 °C). The following parameters were recorded: Up-Events Slope Mean, Down-Events Slope Mean, Total Events Slope Mean. Subjects were examined twice: before

(01) and after (02) cryotherapy. The Task Force® Monitor was used to measure beat-to-beat hemodynamic parameters during supine rest. Examination was made according to standards of autonomic nervous system assessment.

Whole-body cryotherapy caused significant increase of arterial baroreceptors activity, both in decreasing sequences Down-Events Slope Mean and increasing sequences Up-Events Slope Mean. Boosted arterial baroreceptors response was a result of increased volume of venous return and ventricles volume, which caused an increased level of stroke volume (SV).

key words: whole-body cryotherapy, arterial baroreceptors, hemodynamics, autonomic nervous system

Wprowadzenie

Baroreceptory łuku aorty i zatok szyjnych są pobudzane rozciągnięciem ścian tych naczyń podczas rytmicznych skurczowo-rozkurczowych zmian ciśnienia tętniczego krwi. Baroreceptory zatokowe u człowieka są znacznie bardziej poznane ze względu na swoją dostępność. Reprezentują typ proporcjonalno-różniczkowej regulacji, co oznacza, że reagują nie tylko na bezwzględne zmiany wartości ciśnienia tętniczego, ale i na dynamikę tych zmian [1]. Baroreceptory zatokowe mają swoją szczególną cechę: reagują silniej na spadek ciśnienia, niż na wzrost. Obserwowana asymetria może być spowodowana przyjęciem przez człowieka postawy pionowej [2]. Zmniejszenie aktywności aferentnych włókien baroreceptyjnych na skutek spadku ciśnienia odruchowo zwiększa toniczną aktywność neuronów strefy presyjnej ośrodka naczynioruchowego i ośrodka pobudzającego serce, natomiast obniża aktywność neuronów strefy depresyjnej i ośrodka hamującego serce [1, 2]. W warunkach prawidłowego ciśnienia tętniczego baroreceptory przekazują informację dośrodkową w sposób ciągły, a wszelkie zmiany ciśnienia zwiększają ich aktywność lub osłabiają. Najsilniejszą odpowiedź z baroreceptorów uzyskuje się wtedy, gdy szybkość narastania bodźca w zatokach osiąga szybkość fali tętna. Toniczna informacja z baroreceptorów zatokowych dociera nerwem zatokowym do nerwu językowo-gardłowego i dalej do rdzenia przedłużonego i jądra pasma samotnego. W obrębie jądra pasma samotnego następuje przekazanie informacji do dosercowych włókien nerwu błędnego w jądrze dwuznacznym, co wywołuje natychmiastową odpowiedź sercową w postaci zwolnienia rytmu serca – odruchowe pobudzenie dosercowych włókien nerwu błędnego, lub przyspieszenia – zahamowanie aktywności nerwu błędnego [2-5].

Reaktywność baroreceptorów zatokowych obniża się wraz z wiekiem. Obserwuje się również wyraźną okołodobową zmienność czułości odruchu z baroreceptorów zatokowych u ludzi: w godzinach wczesnoporannych jest ona najniższa. Prawidłowe funkcjonowanie baroreceptorów tętniczych jest niezbędne do utrzymania fizjologicznych wartości ciśnienia tętniczego krwi [2].

Przedmiotem badań była obiektywna ocena wpływu temperatur kriogenicznych na regulacyjne mechanizmy w układzie krążenia. Termiczne bodźce fizykalne często wykorzystywane są w medycynie fizykalnej i odnowie biologicznej w formie zabiegów ciepło- i zimnoleczniczych. Zabiegi kriostymulacji ogólnoustrojowej wykorzystuje się w leczeniu wielu stanów chorobowych, m.in.: chorób zwyrodnieniowych narządu ruchu, chorób reumatycznych, świeżych urazów sportowych, stanów zapalnych, przewlekłych dolegliwości bólowych i fibromialgii [6-9].

Stymulacja termoreceptorów powierzchni ciała zwiększa ich aktywność dośrodkową. Bodźce termiczne są czynnikami wpływającymi na czynność wzgórza. Elektryczna stymulacja wzgórza moduluje czynność baroreceptorów tętniczych, zatem pobudzenie termoreceptorów może modulować czynność baroreceptorów tętniczych [10-14].

Wybrane metody oceny odruchowej czynności baroreceptorów tętniczych

Test naczynioaktywny

Test opiera się na podaniu osobie badanej leku naczynioaktywnego działającego na naczynia oporowe, który powoduje zmiany ciśnienia tętniczego bez zmian częstotliwości rytmu serca. Najczęściej w tym celu stosowano wazopresynę i noradrenalinę (działanie naczyniokurczące) lub nitroprusydek sodu (działanie naczyniorozszerzające). Obserwowany wzrost ciśnienia w granicach 20-40 mm/Hg powodował pobudzenie baroreceptorów. Czułość odruchu wyrażano w postaci zależności pomiędzy zmianą ciśnienia tętniczego a zmianą długości interwału R-R (*R-to-R interval* – RRI) lub częstotliwości pracy serca (*heart rate* – HR). Wartość funkcji regresji liniowej określonej na podstawie wyznaczonych punktów (ms/mmHg) wyraża odruchową odpowiedź z baroreceptorów tętniczych [2, 15].

Próba Valsalwy

Podczas manewru Valsalwy oceniana jest czułość odruchu z baroreceptorów tętniczych na podstawie analizy zmian częstotliwości rytmu serca i ciśnienia tętniczego krwi. Bardzo istotną rolę podczas tego testu odgrywa pozycja przyjęta przez pacjenta, obserwowane efekty są bardziej nasilone w pozycji siedzącej niż leżącej. Wzrost ciśnienia w obrębie klatki piersiowej powoduje krótkotrwałe podwyższenie ciśnienia tętniczego (faza I), bez wpływu na zmianę częstotliwości pracy serca. Utrzymanie podwyższonego ciśnienia w klatce piersiowej zmniejsza powrót żylny (faza II), objętość skurczową i ciśnienie tętnicze krwi, jednocześnie zwiększa się częstość pracy serca, co spowodowane jest aktywacją układu współczulnego i zmniejszeniem aktywności nerwu błędnego. Zakończenie próby cechuje się nagłym obniżeniem ciśnienia w obrębie klatki piersiowej (faza III). W kolejnej fazie następuje ponowny, stopniowy wzrost ciśnienia tętniczego krwi oraz odruchowe zwolnienie częstości akcji serca (faza IV). Odruchowy wpływ baroreceptorów reguluje ciśnienie tętnicze krwi oraz częstość pracy serca. Ciągła ocena częstości akcji serca oraz ciśnienia tętniczego pozwala ocenić adrenergiczną aktywność układu współczulnego. Zwykle przeprowadza się trzy próby, biorąc pod uwagę maksymalny wynik [2, 15].

Spektralna ocena wrażliwości odruchu z baroreceptorów

Ocena odruchu z baroreceptorów tętniczych z użyciem metod spek-

tralnych jest metodą wiarygodną i może być stosowana z powodzeniem zamiast testów naczynioaktywnych. Metodyka opiera się na założeniu, że każdemu samoistnemu wahaniu ciśnienia tętniczego krwi towarzyszy wahanie częstości rytmu serca na skutek pobudzenia bądź inaktywacji baroreceptorów tętniczych. Do analizy zwykle wybiera się fragment stacjonarnego zapisu skurczowego ciśnienia krwi (*systolic blood pressure* – SBP) oraz częstości pracy serca (*heart rate* – HR) o długości co najmniej 240 s. Jedną z metod analizy wykorzystuje algorytm zaproponowany przez Paganiego i wsp., w którym analizie poddaje się wskaźniki (*high frequency-baroreflex sensitivity* – HF-BRS), (*low frequency-baroreflex sensitivity* – LF-BRS) oraz Robbe-BRS (*Robbe-baroreflex sensitivity*). Wskaźniki LF-BRS oraz HF-BRS wylicza się, wykorzystując metodę autoregresji i spektralnej dekompozycji w postaci pierwiastka kwadratowego z ilorazu gęstości widm zmienności interwału R-R (*R-to-R interval* – RRI) oraz skurczowego ciśnienia tętniczego, w przypadku LF-BRS w zakresie częstotliwości 0,04-0,15 Hz, dla HF-BRS w zakresie 0,15-0,45 Hz przy koherencji $\geq 0,5$. Natomiast wartość współczynnika Robbe-BRS oblicza się za pomocą algorytmu Blackmana-Tukeya. Zgodność otrzymanych wyników oceniano przez porównanie wartości średnich oraz za pomocą analizy korelacji liniowej Pearsona [16].

Sekwencyjna metoda oceny wrażliwości odruchu z baroreceptorów

Zaletami wykorzystania metody sekwencyjnej w ocenie wrażliwości baroreceptorów tętniczych jest możliwość automatyzacji pomiarów oraz zastosowanie tej metody do krótkotrwałych sekwencji zmienności ciśnienia tętniczego krwi. Badanie polega na określeniu co najmniej 3 kolejnych uderzeń serca, w przebiegu których rejestrowane jest wydłużenie interwałów R-R (RRI), poprzedzone stopniowym wzrostem skurczowego ciśnienia krwi (sBP), lub skrócenie odstępów R-R (RRI), poprzedzone stopniowym spadkiem skurczowego ciśnienia krwi (sBP). Pomiaru obu parametrów mierzone są w sposób ciągły *beat-to-beat*, przyjęta wartość progowa dla interwałów R-R to 6 ms, dla skurczowego ciśnienia krwi (sBP) – 1 mmHg. Uzyskane dane podlegają komputerowej obróbce, a następnie wyznaczana jest krzywa regresji liniowej między zarejestrowanymi zmianami skurczowego ciśnienia krwi (sBP), a pojawiającymi się w ich następstwie zmianami długości interwałów R-R (RRI) [16, 17].

Cel

Celem przedstawionego opracowania jest ocena wpływu temperatur kriogenicznych na czynność baroreceptorów tętniczych u osób zdrowych.

Materiał i metody

Charakterystyka grupy badawczej

Badaniami objęto grupę $n=25$ zdrowych mężczyzn, spośród $n=43$ zakwalifikowanych i przebadanych ochotników. Charakterystyka antropometryczna grupy badawczej (średnia \pm odchylenie): wiek $31,5 \pm 5,61$ lat; waga $83,7 \pm 10,10$ kg; wzrost $1,79 \pm 0,05$ m; BMI $25,9 \pm 2,82$ kg/m²; BSA $2,0 \pm 0,12$ m²; spoczynkowe ciśnienie skurczowe (sBP) $123,6 \pm 11,58$ mmHg; spoczynkowe ciśnienie rozkurczowe (*diastolic blood pressure* – dBP) $77,8 \pm 7,3$ mmHg (tabela 1).

U badanych ochotników nie stwierdzono przeciwwskazań do zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Kwalifikacja do badań następowiała na podstawie ankiety wypełnianej przez ochotnika i szczegółowego badania lekarskiego, które miało na celu wykluczenie osób

Tabela 1 Charakterystyka ogólna grupy badawczej

Cecha	grupa badawcza (n=25)	
	średnia	SD
Wiek, lata	31,50	5,61
Wzrost, m	1,79	0,05
Waga, kg	83,70	10,10
BMI, kg/m ²	25,90	2,82
BSA, m ²	2,00	0,12
sBP spoczynkowe, mmHg	123,60	11,58
dBp spoczynkowe, mmHg	77,80	7,30

z jakąkolwiek dysfunkcją układu krążenia lub autonomicznego układu nerwowego, jak też osób z przeciwwskazaniem do stosowania zabiegów w kriokomorze.

Zabieg kriostymulacji ogólnoustrojowej

Metodyka badania opierała się na poddaniu badanych osób jednokrotnemu zabiegowi krioterapii ogólnoustrojowej w kriokomorze o typie sprężarkowym, składającej się z dwóch

przedsińków (pierwszy ok. -10 °C, drugi ok. -60 °C) i komory właściwej. Badani przebywali w kriokomorze – w komorze właściwej przez 3 minuty w temperaturze od -115 °C do -120 °C. Przed zabiegiem oraz do momentu zakończenia badania osoby badane przebywały w pomieszczeniu klimatyzowanym, o stałej temperaturze i wilgotności. W trakcie całego eksperymentu osoby badane nie wykonywały intensywnych ruchów, aktywność ograniczono do wolnego chodu. Tym samym wyeliminowano wpływ czynności mięśni szkieletowych na dynamikę wychłodzenia i ogrzewania się ciała badanych osób.

Rejestracja odruchu z baroreceptorów tętnicznych

W celu dokonania czynnościowej oceny odruchu z baroreceptorów tętnicznych wykorzystano metodę sekwencyjną opisaną przez Paratiego i wsp., zaimplementowaną w urządzeniu Task Force® Monitor firmy CNSystems® (rys. 5), [16].

System pomiarowy Task Force® Monitor służy do nieinwazyjnej oceny parametrów hemodynamicznych oraz autonomicznego układu nerwowego. W skład systemu wchodzi moduły: kardiografii impedancyjnej (*impedance cardiography* – ICG); elektrokardiografii (*electrocardiography* – EKG); oscylometrycznego pomiaru ciśnienia krwi (*oscillometric blood pressure* – oscBP); ciągłego pomiaru ciśnienia krwi (*continuous blood pressure* – contBP). Sygnały biologiczne rejestrowane z użyciem każdego z modułów zbierane są w sposób ciągły *beat-to-beat* i nieinwazyjny [18-20].

Analizie poddano następujące parametry:

Up-Events Event Count – liczba narastających sekwencji baroreceptorów (narastająca sekwencja ciśnienia skurczowego (sBP) wraz z wywołaną w następstwie narastającą sekwencją interwałów R-R (RRI)) [n/1].

Up-Events Slope Mean – średnie nachylenie krzywej funkcji regresji liniowej wszystkich zarejestrowanych narastających sekwencji baroreceptorów [ms/mmHg].

Up-Events BEI – wskaźnik efektywności odruchu baroreceptora, definiowany jak stosunek wszystkich, zarejestrowanych w danym przedziale narastających sekwencji baroreceptorów do całkowitej liczby zarejestrowanych, narastających odcinków ciśnienia skurczowego [%].

Down-Events Event Count – liczba malejących sekwencji baroreceptorów (malejąca sekwencja ciśnienia skurczowego (sBP) wraz z wywołaną w następstwie malejącą sekwencją interwału R-R (RRI)) [n/1].

Down-Events Slope Mean – średnie nachylenie krzywej funkcji regresji liniowej wszystkich zarejestrowanych malejących sekwencji baroreceptorów [ms/mmHg].

Down-Events BEI – wskaźnik efektywności odruchu baroreceptorów, definiowany jak stosunek wszystkich, zarejestrowanych w danym przedziale malejących sekwencji baroreceptorów do całkowitej liczby zarejestrowanych, malejących odcinków ciśnienia skurczowego [%].

Total Events Count – liczba wszystkich wykrytych sekwencji baroreceptorów (narastających i malejących) wykrytych w przebiegu całego pomiaru [n/1].

Total Events Slope Mean – średnie nachylenie krzywej funkcji regresji liniowej wszystkich (rosnących i malejących) zarejestrowanych sekwencji baroreceptorów [ms/mmHg].

Total Events BEI – wskaźnik efektywności odruchu baroreceptorów, definiowany jak stosunek wszystkich, zarejestrowanych w danym przedziale sekwencji (rosnących i malejących) baroreceptorów, do całkowitej liczby wszystkich zarejestrowanych odcinków ciśnienia skurczowego [%].

$$BRS = \frac{\Delta RRI}{\Delta sBP} \left[\frac{ms}{mmHg} \right]$$

Osoby biorące udział w eksperymencie były wyczerpane. Pierwszą rejestrację systemem Task Force® Monitor wykonano w godzinach porannych, w warunkach spełniających kryteria badania czynności autonomicznego układu nerwowego, nie później niż w dwie godziny od ostatniego porannego posiłku. Drugą rejestrację wykonano w czasie do 15 minut po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej. Rejestrację wykonano w czasie co najmniej 5 minut od momentu unormowania się wszystkich zapisów sygnałów biologicznych. Badani przebywali w pozycji leżącej.

- 01 – badanie TFM przed zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej
- 02 – badanie TFM po zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Statystyka

Ponieważ warunki stosowania jednoczynnikowej analizy wariancji dla pomiarów powtarzanych nie zostały spełnione dla wszystkich mierzonych parametrów (normalność, równość wariancji), do analizy zastosowano test Friedmana. Na poziomie istotności występują istotne statystycznie różnice między wartościami średnimi niektórych zarejestrowanych parametrów. W celu oceny, które pomiary w czasie wpływają na taki wynik testu Friedmana, dla każdego parametru wykonano test post-hoc Dunna. Wszystkie testy przeprowadzono na poziomie istotności. Do analizy statystycznej wykorzystano program Statistica 8.0.

Wyniki

Jednorazowy, 3-minutowy zabieg kriostymulacji ogólnoustrojowej wpłynął na zmniejszenie całkowitej liczby narastających sekwencji baroreceptora *Up-Events Event Count* – narastająca sekwencja ciśnienia skurczowego (sBP) wraz z wywołaną w następstwie narastającą sekwencją interwałów R-R. Zarejestrowana liczba narastających sekwencji baroreceptorów wahała się od 2 do 39, średnia 14,68 ± 9,27 przed zabiegiem kriostymulacji (01) oraz od 0 do 26, średnia 8,7 ± 8,58 po zabiegu kriostymulacji (02) (rys. 1) (p<0,05). Podobnie, liczba malejących sekwencji baroreceptorów *Down-Events Event Count* uległa zmniejszeniu po zabiegu kriostymulacji, zakres od 2 do 30, średnia 15,08 ± 7,51 przed zabiegiem kriostymulacji (01) oraz od 0 do 34, średnia 10,32 ± 8,98 po zabiegu kriostymulacji (02) – rys. 1 – (p<0,05). Zmniejszenie liczby, zarówno narastających, jak i malejących sekwencji baroreceptorów, przełożyło się na zmniejszenie wszystkich wykrytych sekwencji baroreceptorów *Total Event Count*, zakres od 4 do 67, średnia 29,76 ± 15,82 przed zabiegiem (01) oraz od 0 do 59, średnia 19,08 ± 17,05 po zabiegu kriostymulacji (02) (p>0,05) – rys. 1, tabela 2, 3.

Zarejestrowane zmiany wartości parametru Slope był zdecydowanie wyższe po zabiegu kriostymulacji. Wartości *Up-Events Slope Mean*, w przypadku narastających sekwencji baroreceptorów, kształtowały się w zakresie od 9,96 do 91,19, średnia 36,13 ± 23,32 ms/mmHg przed

zabiegiem krostymulacji (01) oraz od 15,30 do 128,14, średnia $47,08 \pm 35,06$ ms/mmHg po zabiegu (02). W przypadku malejących sekwencji baroreceptorów wartość parametru *Down-Events Slope Mean* wahała się od 10,67 do 92,09, średnia 30,00 ms/mmHg przed zabiegiem (01) oraz od 12,84 do 169,98, średnia $42,63 \pm 38,28$ ms/mmHg po zabiegu (02) krostymulacji ogólnoustrojowej. Średnia wartość parametru *Total Slope*

dla wszystkich zarejestrowanych sekwencji kształtowała się w zakresie od 10,26 do 91,68, średnia $32,68 \pm 20,24$ ms/mmHg przed zabiegiem (01) oraz od 14,07 do 169,98, średnia $44,66 \pm 37,64$ ms/mmHg po zabiegu krostymulacji (tabela 2, 3).

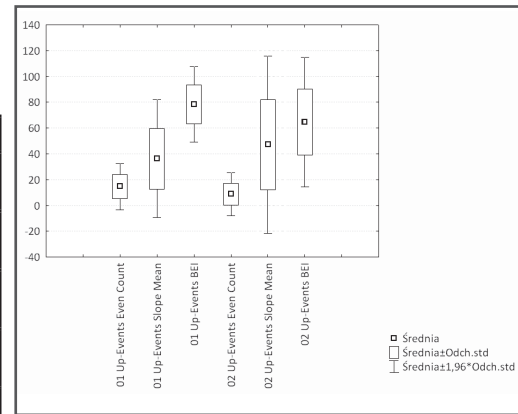
Ze względu na fizjologiczne braki odruchu z baroreceptorów u niektórych badanych niemożliwe było przeprowadzenie analizy sta-

Tabela 2 Statystyka opisowa parametrów: *Up-Events Event Count*, *Up-Events Slope Mean*, *Up-Events BEI*, *Down-Events Event Count*, *Down-Events Slope Mean*, *Down-Events BEI*, *Total Events*, *Total Slope Mean* oraz *Total BEI* zarejestrowanych przed (01) zabiegiem krostymulacji ogólnoustrojowej

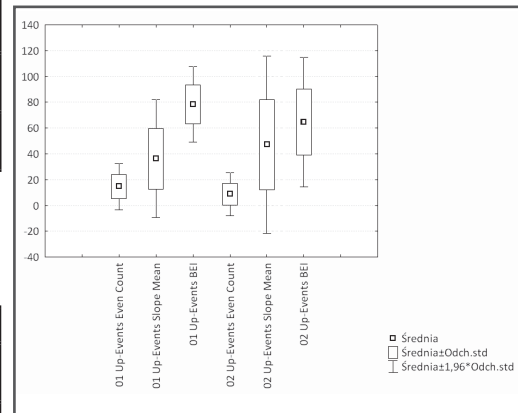
Zmienna	Statystyki opisowe: Badanie 01 TFM							
	N	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Kwartył dolny	Kwartył górny	Odch. std
01 Up-Events Event Count	25	14,68	12,00	2,00	39,00	8,00	19,00	9,27
01 Up-Events Slope Mean	25	36,13	28,18	9,96	91,19	17,76	59,49	23,32
01 Up-Events BEI	25	78,33	78,26	50,00	100,00	69,23	90,91	14,99
01 Down-Events Event Count	25	15,08	15,00	2,00	30,00	10,00	20,00	7,51
01 Down-Events Slope Mean	25	30,00	24,62	10,67	92,09	17,94	40,53	18,65
01 Down-Events BEI	25	80,28	81,82	31,25	100,00	69,57	94,74	16,49
01 Total Event Count	25	29,76	32,00	4,00	67,00	18,00	36,00	15,82
01 Total Slope Mean	25	32,68	27,97	10,26	91,68	16,08	46,44	20,24
01 Total BEI	25	79,19	81,48	48,72	98,18	72,34	85,71	12,66

Tabela 3 Statystyka opisowa parametrów: *Up-Events Event Count*, *Up-Events Slope Mean*, *Up-Events BEI*, *Down-Events Event Count*, *Down-Events Slope Mean*, *Down-Events BEI*, *Total Events*, *Total Slope Mean* oraz *Total BEI* zarejestrowanych po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej

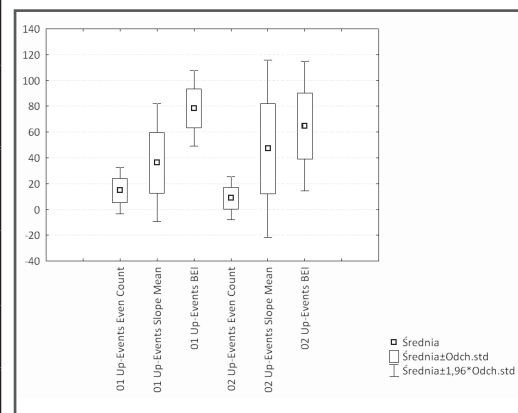
Zmienna	Statystyki opisowe: Badanie 02 TFM							
	N	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Kwartył dolny	Kwartył górny	Odch. std
02 Up-Events Event Count	25	8,76	8,00	0,00	26,00	1,00	14,00	8,58
02 Up-Events Slope Mean	22	47,08	35,81	15,30	128,14	23,08	52,61	35,06
02 Up-Events BEI	25	64,65	72,73	0,00	100,00	60,00	80,00	25,64
02 Down-Events Event Count	25	10,32	7,00	0,00	34,00	4,00	16,00	8,98
02 Down-Events Slope Mean	23	42,63	33,07	12,84	169,98	19,64	49,14	38,28
02 Down-Events BEI	25	77,05	80,77	20,00	100,00	66,67	94,74	21,16
02 Total Event Count	25	19,08	15,00	0,00	59,00	5,00	30,00	17,05
02 Total Slope Mean	24	44,66	33,22	14,07	169,98	19,95	52,41	37,64
02 Total BEI	25	75,14	80,36	37,50	100,00	66,67	84,51	17,28



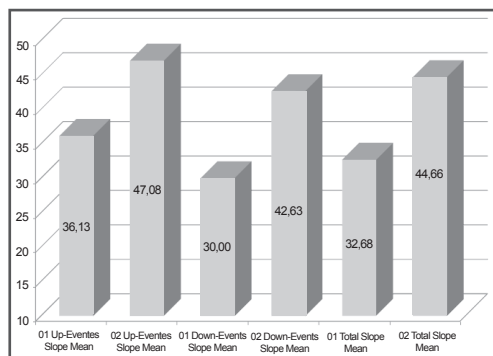
Rys. 1 Wykres pudełkowy zmian średnich wartości parametrów narastających sekwencji baroreceptorów *Up-Events* zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej (wartości wyrażone kolejno w: n/l; ms/mmHg; %)



Rys. 2 Wykres pudełkowy zmian średnich wartości parametrów malejących sekwencji baroreceptorów *Down-Events* zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej (wartości wyrażone kolejno w: n/l; ms/mmHg; %)



Rys. 3 Wykres pudełkowy zmian średnich wartości parametrów wszystkich sekwencji baroreceptorów *Total* zarejestrowanych przed (01) i po (02) zabiegu krostymulacji ogólnoustrojowej (wartości wyrażone kolejno w: n/l; ms/mmHg; %)



Rys. 4 Wykres kolumnowy średnich wartości nachylenia krzywej funkcji regresji liniowej zarejestrowanych sekwencji baroreceptorów Up-Events, Down-Events, Total, wartości podane na kolumnach wyrażone w [ms/mmHg]

tystycznej testem Friedmana zebranych danych parametru Slope Mean, pomimo znacznych różnic jego wartości (rys. 4).

Wartości zarejestrowanych zmian ciśnienia skurczowego (sBP), rozkurczowego (dBP) i średniego (mean blood pressure – mBP) nie wykazały istotnych statystycznie zmian ($p > 0,05$). Wartości ciśnień kształtowały się w następujących zakresach: przed krioterapią (01): sBP od 108,8 do 156,0 mmHg, średnia $123,6 \pm 11,5$; dBP od 67,6 do 76,5 mmHg, średnia $77,8 \pm 7,3$; mBP od 81,7 do 90,4 mmHg, średnia $92,4 \pm 9,1$; po krioterapii (02): sBP od 112,5 do 142,1, średnia $123,6 \pm 9,4$; dBP od 59,7 do 98,3 mmHg, średnia $79,8 \pm 8,04$; mBP od 71,1 do 110,8 mmHg, średnia $92,3 \pm 8,4$ (tabele 4, 5). Pod względem wyjściowych parametrów ciśnienia badane osoby stanowiły dość jednorodną grupę. Osoby biorące udział w eksperymencie były w pełni zdrowe oraz zbadane wcześniej przez lekarza. Obserwowane sporadyczne odstępstwa wartości niektórych parametrów ciśnienia, zwłaszcza ciśnienia skurczowego (sBP), mogły być spowodowane nadmierną reakcją emocjonalną osoby biorącej udział po raz pierwszy w tego rodzaju eksperymencie.

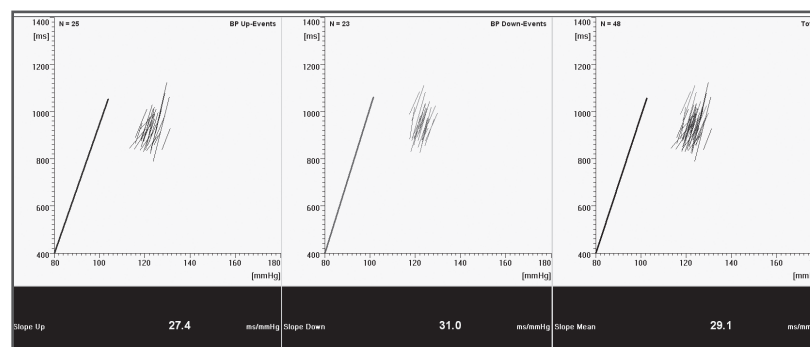
Średnia wartość objętości wyrzutowej serca (SV) wyniosła: przed zabiegiem (01) 100,2 ml, po zabiegu 106,0 ml. Zakres zmian dla SV wynosił od 65,9 do 145,2 ml dla rejestracji przed zabiegiem kriostymulacji (01) oraz od 66,6 do 149,1 ml dla rejestracji po zabiegu (02) ($p < 0,05$). Zmiany średniej wartości pojemności minutowej serca (CO) były niewielkie i kształtowały się na poziomie nieistotnym statystycznie ($p > 0,05$), średnia wyniosła $6,22 \pm 1,45$, zakres od 3,8 do 9,3 l/min przed krioterapią (01) oraz średnia $6,11 \pm 1,38$, zakres od 4,0 do 9,4 l/min po zabiegu kriostymulacji (02). Średnia wartość całkowitego oporu naczyniowego przed zabiegiem krioterapii (01) wyniosła $1210,81 \pm 256,97$, zakres od 749,12 do 1677,52 MPa•s/m³, po zabiegu krioterapii (02) średnia wartość TPR wyniosła $1225,31 \pm 253,50$, zakres od 766,40 do 1678,15 MPa•s/m³/m² ($p < 0,05$). Istotne statystycznie zmiany obserwowano w obrębie parametru częstości akcji serca (HR), przed kriostymulacją (01) średnia wartość HR wyniosła $62,3$ 1/min $\pm 9,7$, zakres od 46,9 do 83,9 1/min, z kolei po zabiegu

Tabela 4 Statystyka opisowa parametrów: sBP, dBP, mBP, SV, CO, TPR i HR zarejestrowanych przed (01) zabiegiem kriostymulacji ogólnoustrojowej

Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 01 TFM							
	N	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Kwartył dolny	Kwartył górny	Odch. std
01 sBP	123,696	121,302	108,879	156,034	118,013	129,887	11,5894	8,58
01 dBP	77,859	76,565	67,677	96,467	72,582	81,622	7,3121	35,06
01 mBP	92,403	90,449	81,758	119,452	86,394	96,828	9,1695	25,64
01 SV	100,201	105,202	65,925	145,287	80,568	117,875	22,4243	8,98
01 CO	6,223	6,161	3,833	9,357	4,984	7,346	1,4564	38,28
01 TPR	1210,81	1184,954	749,12	1677,528	999,997	1401,658	256,9788	21,16
01 HR	62,799	62,384	46,971	83,985	56,514	67,815	9,7516	17,05

Tabela 5 Statystyka opisowa parametrów: sBP, dBP, mBP, SV, CO i TPR zarejestrowanych po (02) zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej

Zmienna	Statystyki opisowe: badanie 02 TFM							
	N	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Kwartył dolny	Kwartył górny	Odch. std
02 sBP	123,627	120,709	112,558	142,125	116,494	130,902	9,4951	8,58
02 dBP	79,823	80,726	59,773	98,378	75,339	84,923	8,0484	35,06
02 mBP	92,216	93,643	71,121	110,814	86,344	97,763	8,4752	25,64
02 SV	106,095	103,092	66,65	149,144	91,51	125,31	21,7768	8,98
02 CO	6,114	5,908	4,061	9,493	5,084	6,862	1,3808	38,28
02 TPR	1225,314	1225,107	766,404	1678,158	1061,976	1392,584	253,5025	21,16
02 HR	58,34	57,392	40,805	87,917	54,116	61,522	10,0962	17,05



Rys. 5 Przykładowy zapis graficzny nachylenia krzywej funkcji regresji liniowej zarejestrowanych sekwencji baroreceptorów Slope Up, Slope Down, Slope Mean generowany przez system Task Force® Monitor, wartości wyrażone w ms/mmHg

kriostymulacji (02) średnia wartość HR wyniosła $58,3$ 1/min $\pm 10,09$, zakres od 40,8 do 87,9 1/min ($p < 0,05$) – tabele 4, 5.

Dyskusja

Analiza przedstawionych wyników ma na celu pogłębienie wiedzy na temat zmian czynnościowych organizmu człowieka pod wpływem

zabiegu krioterapii ogólnoustrojowej. Na podstawie zgromadzonych danych wykazano, że w czasie do 15 minut od zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej nie obserwowano istotnych statystycznie zmian ciśnienia skurczowego (sBP), ciśnienia rozkurczowego (dBP) oraz ciśnienia średniego (mBP) – tabele 4, 5, pomimo znacznych zmian odruchowej wrażliwości baroreceptorów tętniczych – tabele 2, 3. Jednocześnie obserwowano zmiany objętości wyrzutowej (SV), którym towarzyszył jednoczesny spadek częstości akcji serca (HR). Zauważono, że po 3-minutowym zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej nie obserwuje się istotnych zmian wartości ciśnienia tętniczego krwi (sBP, dBP, mBP). Badania Yamazaki i wsp. [10, 22] wskazują, że oddziaływanie bodźcem termicznym o niskiej temperaturze (-10 °C) przez 40-65 min powoduje znaczne podwyższenie wartości ciśnienia tętniczego krwi. Wzrost wartości ciśnienia tętniczego krwi obserwowali również Taghawinejad i wsp. [23] oraz Fricke [8]. Różnice mogą wynikać z faktu, że Yamazaki i wsp. zastosowali inny rodzaj bodźca termicznego o zdecydowanie wyższej temperaturze; nie była to temperatura kriogeniczna.

Czułość odruchu z baroreceptorów tętniczych uległa znacznemu podwyższeniu (tabele 2, 3). Podobne wyniki otrzymał również Yamazaki i wsp., jednak obserwowana zmiana była mniejsza, co mogło być spowodowane wyższą temperaturą bodźca.

Wzmocniona odpowiedź z baroreceptorów tętniczych na skutek działania temperatur kriogenicznych najprawdopodobniej była efektem wzmoczonego powrotu żylnego i poziomu wypełniania komór, co skutkowało zwiększoną objętością wyrzutową serca (SV), jednakże zwiększona objętość wyrzutowa przy tak znacznym spadku częstości akcji serca (HR) nie spowodowała zmian pojemności minutowej serca (CO). ■

Literatura

- S.J. Konturek (red.): *Fizjologia człowieka*, Podręcznik dla studentów medycyny, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2007.
- E. Szczepańska-Sadowska, W. Rużyłło, W. Januszewicz, A. Januszewicz: *Układ nerwowy a choroby układu sercowo-naczyniowego*, Medycyna Praktyczna, Kraków 2009.
- G. Raczak: *Znaczenie odruchu z baroreceptorów tętniczych w diagnostyce kardiologicznej*, *Kardiologia Polska*, vol. 60, 2004, s. 189-192.
- M.T. La Rovere, G. Raczak: *Jak ocenić wrażliwość odruchu z baroreceptorów tętniczych*, *Folia Cardiologica Excerpta*, vol. 1(6), 2006, s. 297-304.
- T. Ketch, I. Biaggioni, R.M. Robertson, D. Robertson: *Four faces of baroreflex failure*, *Circulation*, vol. 105, 2002, s. 2518-2523.
- T. Westerlund, J. Smolander, A. Uusitalo-Koskinen: *The blood pressure responses to an acute and long-term whole-body cryotherapy (-110 °C) in men and women*, *Journal of Thermal Biology*, vol. 29, 2004, s. 285-290.
- J. Smolander, M. Mikkelsson, J. Oksa: *Thermal sensation and comfort in women exposed repeatedly to whole-body cryotherapy and winter swimming in ice-cold water*, *Physiology & Behavior*, vol. 82, 2004, s. 691-695.
- R. Fricke: *Ganzkörperkältherapie in einer Kältekammer mit Temperaturen um -110 °C*, *Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Med. Klimatologie*, vol. 18, 1989, s. 1-10.
- A. Algaftly, K.P. George: *The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance*, *British Journal of Sports Medicine*, vol. 41, 2007, s. 365-369.
- F. Yamazaki, R. Sone: *Modulation of arterial baroreflex control of heart rate by skin cooling and heating in humans*, *Journal of Applied Physiology*, vol. 88, 2000, s. 393-400.
- J. Cui, S. Durand, C.G. Crandall: *Baroreflex control of muscle sympathetic nerve activity during skin surface cooling*, *Journal of Applied Physiology*, vol. 103, 2007, s. 1284-1289.
- T.J. Ebert, D.F. Stowe, J.A. Barney, J.H. Kalbfleisch, J.J. Smith: *Summated circulatory responses of thermal and baroreflexes in humans*, *Journal of Applied Physiology*, vol. 52, 1982, s. 184-189.
- G.L. Gebber, D.W. Snyder: *Hypothalamic control of baroreceptor reflexes*, *American Journal of Physiology*, vol. 218, 1970, s. 124-131.
- J. Fagius, R. Kay: *Low ambient temperature increases baroreflex-governed sympathetic outflow to muscle vessels in humans*, *Acta Physiologica Scandinavica*, vol. 142, 1991, s. 201-209.
- J. Jorg (red.): *Diagnostyka autonomicznego układu nerwowego i zaburzeń snu*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2006.
- G. Parati, G. Ongaro, G. Bilo, F. Glavina, P. Castiglioni, M. Di Renzo: *Non-invasive beat-to-beat blood pressure monitoring: new developments*, *Blood Press Monit*, vol. 8, 2003; s. 31-36.
- G. Raczak, L. Daniłowicz, M. Figura-Chmielewska, J. Kubica, M. Szwoch, P. Buda: *Porównanie spektralnych metod oceny wrażliwości baroreceptorów tętniczych i testu fenylefrynowego u chorych po zawale serca z obniżoną frakcją wyrzutową lewej komory*, *Folia Cardiologica*, vol. 9, 2002, s. 387-395.
- T. Schwalm: *Modern tilt table testing and non-invasive monitoring*, ABW Wissenschaftsverlag, Berlin 2006.
- J. Fortin, W. Habenbacher, A. Heller: *Non-invasive beat-to-beat cardiac output monitoring by an improved method of transthoracic bioimpedance measurement*, *Computers in Biology and Medicine*, vol. 36, 2006, s. 1185-1203.
- J. Fortin, W. Habenbacher, R. Gruellenberger, P. Wach, F. Skrabal: *Real time monitor for hemodynamic beat-to-beat parameters and power spectra analysis of the biosignals*, *Proceedings of the 20th annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 20(1), 1998.
- J.N. Hanna, McN Hill, J.D. Sinclair: *Human cardiorespiratory responses to acute cold exposure*, *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, vol. 2, 1975, s. 229-238.
- F. Yamazaki, R. Sone: *Thermal stress modulates arterial pressure variability and arterial baroreflex response of heart rate during head-up tilt in humans*, *European Journal of Applied Physiology*, vol. 84, 2001, s. 350-357.
- M. Taghawinejad, G. Birwe, R. Fricke, R. Hartmann: *Ganzkörperkältherapie Beeinflussung von Kreislauf- und Stoffwechselfparametern*, *Zeitschrift für Physikalische Medizin Balneologie Med. Klimatologie*, vol. 18, 1989, s. 23-30.

otrzymano / received: 02.02.2010
zaakceptowano / accepted: 03.03.2010