

Zróznicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców w badaniach termowizyjnych

Diversity of body surface temperature due to various stimuli in thermovision research

Agnieszka Dębiec-Bąk, Anna Skrzek, Anna Jonak

Wydział Fizjoterapii, Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu, ul. Paderewskiego 35, 51-612 Wrocław, tel. +48 (0) 71 347 30 76, e-mail: anna.skrzek@awf.wroc.pl

Streszczenie

Nie ma bezspornych dowodów naukowych wykazujących wpływ skrajnie niskich temperatur na organizm człowieka. Nadal pozostaje wiele niewyjaśnionych zagadnień w zakresie badań podstawowych. Celem pracy jest zbadanie, zgodnie z zasadami EBM (*Evidence Based Medicine* – medycyna oparta na faktach), wpływu różnych bodźców na zróznicowanie temperatury powierzchniowej ciała.

Grupę badawczą stanowiło 90 studentów AWF we Wrocławiu, w wieku 20-25 lat (średnio $22,47 \pm 1,22$). Grupa „placebo” to 30 studentów, którzy przebywali w komorze kriogenicznej, poruszając się spokojnym marszem po okręgu w czasie do 3 minut i nie byli poddawani działaniu niskiej temperatury. Grupa kontrolna „sono” to 30 studentów, którzy w tym samym pomieszczeniu poddani zostali działaniu czynnika stresującego, jakim był bodziec dźwiękowy o dawce bezpiecznej dla ludzkiego ucha. Grupa eksperymentalna „krio” to 30 osób, które poddane zostały działaniom skrajnie niskich temperatur w komorze kriogenicznej, przebywając w przedślonku komory w temperaturze $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 1 minutę, a następnie w komorze właściwej w temperaturze $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 3 minuty.

Rejestracja rozkładu temperatury powierzchniowej ciała w pozycji stojącej w ujęciu od przodu i od tyłu wykonana została kamerą termowizyjną ThermoVision A20M. Badania przeprowadzono dwukrotnie: przed wejściem do kriokomory i bezpośrednio po wyjściu z kriokomory.

Wyniki badań potwierdziły w sposób obiektywny istotny wpływ skrajnie niskich temperatur na zmianę temperatury powierzchniowej ciała. Zmian takich nie zaobserwowano w grupie placebo, ani w grupie poddanej działaniu innego bodźca stresującego.

Słowa kluczowe: badania termowizyjne, komora kriogeniczna, rozkład temperatur, mapa termiczna

Abstract

There are still many facts related to the exposure of human body to cryogenic temperatures, that remain unexplained. The aim of the present work is to examine in accordance to EBM (*Evidence-based medicine*) principles, the changes of body surface temperature due to various stimuli.

The research group comprised of 90 students of the University School of Physical Education in Wrocław, aged 20-25 ($22,47 \pm 1,22$).

Group “placebo” consisted of 30 students who spent 3 minutes in a cryogenic chamber marching slowly in circles not exposed to any external stimulus. Control grup “sono”, which was in the same chamber, was subjected to a stress factor – sound stimulus, volume safe for human hearing. Group experimental “krio” comprised 30 people subjected to extremely low temperatures in the cryogenic chamber. They spent 1 minute in the antechamber in the temperature of $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ and next, 3 minutes in the proper chamber, where the temperature reached $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

The subjects’ surface body temperature was registered in the standing position, both from the front and from dorsal plane by a thermovision camera ThermoVision A20M. The examinations were repeated twice; before entering the cryogenic chamber and directly after leaving the chamber,

Results of the examination objectively proved that there is a considerable influence of extremely low temperatures on the change of the surface body temperature. Such changes were not observed in neither the placebo group nor in the group subjected to another stress factor.

Key words: thermovision examination, cryogenic chamber, temperature distribution, thermal map

Wstęp

Pojęcie temperatury i ciepła funkcjonuje w ludzkiej świadomości od początków dziejów. Zdobycie umiejętności rozpalania i podtrzymywania ognia uważane jest za jeden z kluczowych etapów rozwoju cywilizacji. W rozwoju filogenetycznym ptaki i ssaki określa się mianem organizmów stałocielnych. Temperatura ich ciała utrzymuje się na stałym poziomie niezależnie od zmian temperatury otoczenia (w pewnych granicach). Utrzymywanie homeostazy termicznej jest wynikiem doskonalenia się gatunków w toku ewolucji. W rozwoju ontogenetycznym człowieka ośrodek termoregulacji zaczyna rozwijać się w szóstym miesiącu życia płodowego.

Organizm człowieka, jako stałocielny, utrzymuje wewnętrzną temperaturę ciała w wąskim zakresie około $37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, niezależnie od normalnie zmieniających się termicznych warunków środowiska. Na bilans cieplny organizmu składają się reakcje termogenne – wytwarzające ciepło oraz reakcje termolityczne – eliminujące ciepło, sterowane przez ośrodek termoregulacji, znajdujący się w podwzgórze. Całe ciało człowieka można podzielić na część stałocielną (rdzeń cieplny) i zmiennocielną (osłonową). W części

osłonowej temperatura zmniejsza się od wnętrza ciała do obwodu. To stopniowanie temperatury jest uchwytnie na skórze kończyn i nazywa się osiowym gradientem temperatury kończyn. Właśnie dzięki części osłonowej ciała ludzkiego i jej właściwościom poiklotermicznym, a także dzięki termoregulacyjnym reakcjom fizjologicznym i behawioralnym, możliwa jest ekspozycja organizmu człowieka na niskie temperatury. Temperatura skóry zależy od: wielkości skórno-przepływu krwi, temperatury krwi, temperatury otoczenia, parowania potu, dyfuzji pary wodnej przez skórę, strat ciepła podczas oddychania, rodzaju ubrania, konwekcji prądów powietrza, ilości wypromieniowanej energii [1-4]. Krioterapia ogólnoustrojowa jako metoda fizykalna niesie za sobą wciąż nowe odkrycia i poszerza obszary leczniczych zastosowań. Samo pojęcie i etymologia słowa krioterapia są szerokie znaczeniowo i interpretacyjnie, obejmując wszystkie metody leczenia za pomocą zimna. Jednakże w wielu pracach dotyczących tej tematyki krioterapią określa się bodźcowe, stymulujące działanie na zewnętrzną powierzchnię ciała krańcowo niskich temperatur poniżej $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 2-3 minuty, dla wywołania układowych i narządowych fizjologicznych reakcji na zimno (przeciwbólów, nerwowo-mięśniowe, przeciwbrzękowe, odpornościowe, hormonalne oraz krążeniowe). Podstawą wszystkich wymienionych reakcji są procesy termoregulacji. Niskie temperatury wykorzystywane są w leczeniu skojarzonym z kinezyterapią w przypadku wielu schorzeń i dysfunkcji organizmu [1, 2, 5, 6, 7]. Dla potwierdzenia wyników badań klinicznych dotyczących fizjologicznych reakcji organizmu na niskie temperatury warto przeprowadzić procedurę dowodową zgodnie z zasadami nauki opartej na faktach (EBM), wykazującą zróżnicowanie temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem różnych bodźców.

Termografia jest całkowicie bezpieczną i nieinwazyjną metodą, umożliwiającą określenie rozkładu temperatury na powierzchni skóry, która często ma związek ze stanem fizjologicznym badanych tkanek lub narządów [8-11]. Podstawa działania systemów termograficznych związana jest z detekcją i rejestracją promieniowania podczerwonego (IR), wysyłanego przez badany obiekt. W wyniku rejestracji otrzymuje się czarno-białe lub barwne obrazy (termogramy, obrazy termalne) niewidzialnego promieniowania podczerwonego. Promieniowanie IR jest nośnikiem informacji o temperaturze obiektu. W medycynie stosuje się systemy termograficzne pracujące w pasmach $2-5\text{ }\mu\text{m}$ lub $8-12\text{ }\mu\text{m}$ [12-16].

System termowizyjny pozwala mierzyć temperaturę na odległość w wielu miejscach jednocześnie [17, 18]. Termografia może być dodatkowym narzędziem diagnostycznym, które pozwala na bardziej szczegółową analizę reakcji fizjologicznych organizmu pod wpływem skrajnie niskich temperatur. Badania te mogą być pomocne w optymalizacji temperatur kriogenicznych, tworzeniu standardów metodologicznych oraz kontroli efektów terapeutycznych.

Cel pracy

Nie ma bezspornych dowodów naukowych wykazujących wpływ skrajnie niskich temperatur na organizm człowieka. Nadal pozostaje wiele niewyjaśnionych zagadnień w zakresie badań podstawowych. Celem pracy jest wykazanie, zgodnie z zasadami nauki opartej na faktach (EBM), zróżnicowania temperatury powierzchniowej ciała pod wpływem działania różnych bodźców.

Materiał i metody badań

Grupę badawczą stanowiło 90 studentów AWF we Wrocławiu, w wieku 20-25 lat (średnio $22,47 \pm 1,22$). Były to osoby zdrowe, zakwalifikowane na podstawie aktualnych badań kontrolnych z „książeczek zdrowia studenta” weryfikowanych przez lekarza specjalistę. Badania prowadzono w Pracowni Krioterapii Ośrodka Profilaktyki i Rehabilitacji NZOZ „Creator”. Zgodnie z zasadami EBM osoby zakwalifikowane do eksperymentu naukowego dokonały losowania określonych grup badawczych.

Grupa „placebo” to 30 studentów, którzy przebywali w komorze kriogenicznej, poruszając się spokojnym marszem po okręgu w czasie do 3 minut i nie byli poddawani działaniu żadnego bodźca.

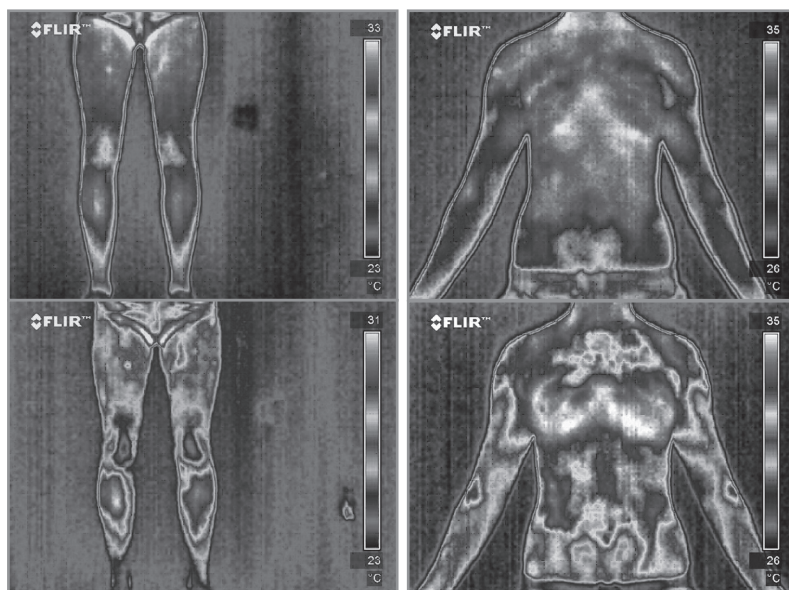
Grupa kontrolna „sono” to 30 studentów, którzy w tym samym pomieszczeniu poddani zostali działaniu czynnika stresującego, jakim był bodziec dźwiękowy o dawce bezpiecznej dla ludzkiego ucha. Określenie dawki maksymalnej było zgodne z obowiązującymi przepisami podanymi w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Socjalnej z 17.06.1998 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (DzU nr 79, poz. 513) oraz zgodnie z wymaganiami normy PN-N-01307:1994. Poziom ekspozycji hałasu maksymalnego poziomu dźwięku A wynosił 100 dB w czasie 3 minut pobytu badanych w przedsionku komory kriogenicznej i wygenerowany był z radioodbiornika mieszczącego się w panelu sterowania komory. Do pomiaru poziomu hałasu wykorzystany został miernik poziomu dźwięku Sonometr 8921, którego standardowe wyposażenie i duża dokładność dają możliwości szerokiego zastosowania w kontroli dopuszczalnej wartości hałasu. Sonometr spełnia wymogi normy IEC 651 typ 2.

Grupa eksperymentalna „krio” to 30 osób, które poddane zostały działaniom skrajnie niskich temperatur w komorze kriogenicznej, przebywając w przedsionku komory, w temperaturze $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 1 minutę, a następnie w komorze właściwej w temperaturze $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ przez 3 minuty (fot. 1).



Fot. 1 Komora kriogeniczna – zlokalizowana na Wydziale Fizjoterapii, AWF Wrocław

Rejestracja temperatury powierzchniowej ciała wykonana została kamerą termowizyjną ThermoVision A20M, współpracującą z komputerem osobistym wyposażonym w program Therma CAM Researcher 2.8. Badania wykonane zostały we wszystkich trzech grupach dwukrotnie: przed wejściem do kriokomory i bezpośrednio po wyjściu z kriokomory. W grupie eksperymentalnej (krio) wykonano dodatkowe badanie po 30 minutach (fot. 2, 3). Pomiar minimalnej,



Fot. 2 Obraz termograficzny kończyn dolnych przed i bezpośrednio po zabiegu kriostymulacji Fot. 3 Obraz termograficzny tułowia przed i bezpośrednio po zabiegu kriostymulacji

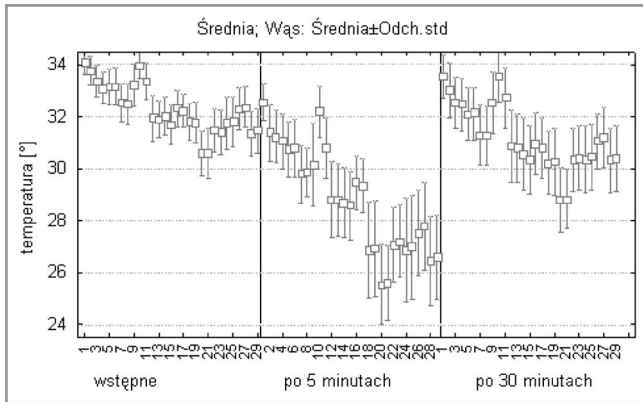
maksymalnej i średniej temperatury w określonym rejonie ciała wykonany był w pozycji stojącej, w ujęciu od przodu i od tyłu, z odległości 2 metrów od badanego, w 29 polach pomiarowych. Przed przystąpieniem do wykonania termogramów badani pozostawali bez odzieży wierzchniej (w białej bieliznie), w celu wyrównania temperatury ciała. Przy kolejnych rejestracjach temperatury powierzchniowej ciała termogramy były wykonywane w tych samych warunkach. Trzecie badanie termograficzne, u osób z grupy eksperymentalnej „krio”, wykonane zostało po 30 minutach przebywania na sali gimnastycznej, w trakcie których badani zachowywali się tak, jak w trakcie zabiegów kriostymulacji, poruszając się spokojnym marszem po okręgu.

Wyniki

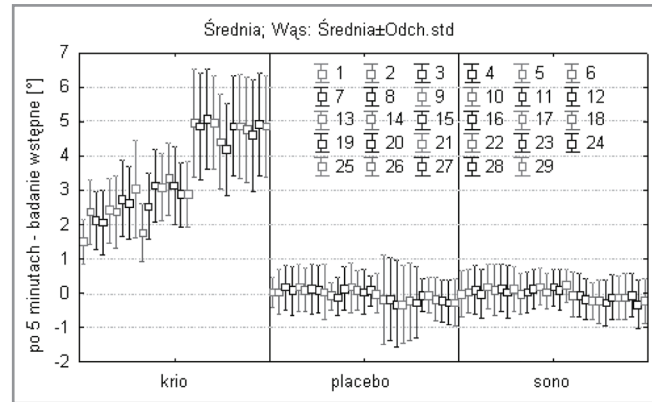
Otrzymane wyniki zostały poddane analizie statystycznej, wykorzystując oprogramowanie Statistica. Wstępna analiza statystyczna obejmowała podstawowe charak-

Tabela 1 Zróżnicowanie średnich wartości temperatury ciała, w 29 polach pomiarowych, w trzech kolejnych badaniach, u osób poddawanych kriostymulacji (grubszym drukiem prawdopodobieństwo $<0,05$)

Pole pomiarowe	ANOVA		Średnie w badaniach			Porównania post-hoc testem NIR, wartość p		
	F	p	wstępne	po 5 min	po 30 min	wstępne – po 5 min	wstępne – po 30 min	po 5 min – po 30 min
1	79,47	0,0000	34,08	32,58	33,56	0,0000	0,0001	0,0000
2	118,61	0,0000	33,77	31,39	33,02	0,0000	0,0000	0,0000
3	88,06	0,0000	33,35	31,24	32,56	0,0000	0,0000	0,0000
4	66,91	0,0000	33,13	31,06	32,46	0,0000	0,0006	0,0000
5	93,14	0,0000	33,13	30,73	32,10	0,0000	0,0000	0,0000
6	76,22	0,0000	33,16	30,80	32,13	0,0000	0,0000	0,0000
7	91,73	0,0000	32,54	29,78	31,30	0,0000	0,0000	0,0000
8	86,43	0,0000	32,49	29,85	31,28	0,0000	0,0000	0,0000
9	112,98	0,0000	33,21	30,16	32,54	0,0000	0,0029	0,0000
10	70,88	0,0000	33,98	32,20	33,56	0,0000	0,0104	0,0000
11	129,91	0,0000	33,36	30,81	32,73	0,0000	0,0003	0,0000
12	125,63	0,0000	31,94	28,82	30,88	0,0000	0,0000	0,0000
13	142,33	0,0000	31,90	28,81	30,79	0,0000	0,0000	0,0000
14	135,17	0,0000	32,03	28,69	30,56	0,0000	0,0000	0,0000
15	120,46	0,0000	31,71	28,57	30,33	0,0000	0,0000	0,0000
16	127,69	0,0000	32,32	29,45	30,96	0,0000	0,0000	0,0000
17	129,95	0,0000	32,23	29,34	30,79	0,0000	0,0000	0,0000
18	227,80	0,0000	31,80	26,85	30,22	0,0000	0,0000	0,0000
19	215,66	0,0000	31,78	26,92	30,27	0,0000	0,0000	0,0000
20	215,71	0,0000	30,60	25,53	28,80	0,0000	0,0000	0,0000
21	233,44	0,0000	30,59	25,60	28,83	0,0000	0,0000	0,0000
22	189,87	0,0000	31,48	27,07	30,33	0,0000	0,0000	0,0000
23	171,17	0,0000	31,40	27,20	30,42	0,0000	0,0001	0,0000
24	227,58	0,0000	31,75	26,87	30,36	0,0000	0,0000	0,0000
25	222,47	0,0000	31,82	26,97	30,46	0,0000	0,0000	0,0000
26	209,42	0,0000	32,32	27,55	31,07	0,0000	0,0000	0,0000
27	188,74	0,0000	32,38	27,78	31,21	0,0000	0,0000	0,0000
28	218,50	0,0000	31,35	26,43	30,31	0,0000	0,0001	0,0000
29	211,86	0,0000	31,45	26,58	30,40	0,0000	0,0001	0,0000



Rys. 1 Temperatura powierzchniowa ciała osób poddawanych krostymulacji ogólnoustrojowej (badania wstępne oraz w 5. i 30. minucie po krostymulacji)



Rys. 2 Zmiany temperatur powierzchniowych ciała w 29 polach pomiarowych, w trzech grupach badanych osób

Tabela 2 Zróżnicowanie średnich wartości temperatury ciała w dwóch kolejnych badaniach, w 29 polach pomiarowych, w grupach „placebo” i „sono” testem t-Studenta (grubszym drukiem prawdopodobieństwo <0,05)

Pole pomiarowe	Średnie w badaniach					Porównania post-hoc testem NIR, wartość p				
	badanie wstępne		badanie po 5 min		t-Studenta	badanie wstępne		badanie po 5 min		t-Studenta
	\bar{X}	s	\bar{X}	s	p	\bar{X}	s	\bar{X}	s	p
1	33,38	0,74	33,40	0,67	0,8732	33,52	0,50	33,49	0,56	0,7346
2	33,05	0,89	33,00	0,91	0,6506	33,06	0,82	33,01	0,81	0,7030
3	32,62	0,75	32,52	0,70	0,4390	32,69	0,69	32,52	0,77	0,1601
4	32,37	0,80	32,40	0,63	0,8591	32,44	0,65	32,37	0,76	0,6083
5	32,45	0,73	32,26	0,70	0,1266	32,45	0,58	32,29	0,72	0,2079
6	32,25	0,83	32,14	0,66	0,4497	32,45	0,61	32,34	0,61	0,3883
7	31,71	0,82	31,56	0,81	0,2285	31,90	0,60	31,77	0,65	0,3599
8	31,44	0,87	31,39	0,78	0,7220	31,95	0,67	31,84	0,69	0,3948
9	32,37	1,01	32,25	1,02	0,3392	32,61	0,81	32,58	0,76	0,8218
10	33,29	0,85	33,30	0,75	0,8763	33,32	0,53	33,40	0,56	0,2486
11	32,62	0,98	32,58	1,00	0,7362	32,64	0,83	32,74	0,79	0,3557
12	31,19	0,87	31,07	0,70	0,2869	31,37	0,78	31,23	0,80	0,2350
13	31,14	0,78	30,94	0,70	0,0499	31,34	0,81	31,17	0,78	0,2175
14	31,70	0,68	31,65	0,67	0,5735	31,44	0,71	31,36	0,63	0,4456
15	31,58	0,73	31,41	0,68	0,1014	31,26	0,72	31,21	0,63	0,6987
16	31,36	0,87	31,27	0,73	0,4101	31,78	0,58	31,71	0,56	0,3877
17	31,52	0,89	31,30	0,77	0,0198	31,61	0,57	31,61	0,59	0,9754
18	30,57	0,83	30,62	0,84	0,6968	30,52	0,87	30,70	0,96	0,4697
19	30,54	0,86	30,58	0,83	0,6952	30,50	0,74	30,68	0,96	0,4408
20	29,52	0,85	29,68	0,89	0,1341	29,70	0,87	30,00	0,92	0,2024
21	29,53	0,86	29,73	0,85	0,0449	29,80	0,86	30,11	0,86	0,1494
22	30,72	0,80	30,96	0,82	0,0506	30,90	0,80	31,14	0,77	0,2655
23	30,49	0,85	30,77	0,82	0,0330	30,81	0,77	31,07	0,72	0,1935
24	30,68	0,86	30,79	0,76	0,3864	30,87	0,68	30,92	0,83	0,5787
25	30,71	0,85	30,83	0,76	0,2950	30,84	0,82	30,89	0,82	0,5895
26	31,20	0,81	31,29	0,60	0,4478	31,48	0,75	31,66	0,81	0,1328
27	31,25	0,87	31,31	0,76	0,5918	31,46	0,77	31,68	0,76	0,0648
28	30,40	0,81	30,70	0,61	0,0251	30,69	0,88	30,96	0,87	0,0350
29	30,49	0,84	30,73	0,70	0,0618	30,65	0,85	30,91	0,81	0,0462

terystyki statystyczne, takie jak średnia, odchylenie standardowe i współczynnik zmienności. Dla porównania wyników dwóch grup zastosowany został test t-Student. Dla porównania więcej niż dwóch grup zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA.

Średnie wartości analizowanych parametrów somatycznych (waga, wysokość, BMI – *Body Mass Index*) oraz ciśnienia skurczowego i rozkurczowego nie różniły się istotnie statystycznie pomiędzy trzema badanymi grupami.

Analiza wariantów z powtórzeniami wykazała istotne statystycznie zróżnicowanie temperatury ciała w grupie eksperymentalnej „krio” poddanej niskim temperaturom, we wszystkich kolejnych trzech badaniach, we wszystkich analizowanych polach pomiarowych (tabela 1). Pięć minut po zabiegu temperatura uległa obniżeniu, po czym w 30 minut po zabiegu podniosła się, nie osiągając jednak jeszcze poziomu wyjściowego (rys. 1). Największe obniżenie temperatury zarejestrowano w okolicach stawów łokciowych i kolanowych oraz w innych okolicach kończyn górnych i dolnych w termogramach strony grzbietowej. Potwierdzono więc, że krioterapia ogólnoustrojowa jest metodą fizykalną, która powoduje bardzo silne wychłodzenie ciała w bardzo krótkim przedziale czasu.

W pozostałych dwóch grupach, czyli „placebo” i „sono”, nie stwierdzono istotnych zmian. Temperatura powierzchniowa ciała nie uległa istotnej zmianie w dwóch kolejnych badaniach, w żadnym z analizowanych pól pomiarowych (tabela 2, rys. 2).

Omówienie

W ostatnich latach stale wzrasta zainteresowanie niskimi temperaturami oraz ich korzystnym wpływem na organizm człowieka. Ekspozycja ogólnoustrojowa na działanie intensywnego zimna wywołuje reakcję stresową stałocięplnego organizmu człowieka. Termiczna reakcja stresowa inicjuje wiele procesów, które mają na celu wyrównanie strat energii oraz utrzymanie stałej temperatury w obrębie organów najważniejszych dla podtrzymania funkcji życiowych. Jednym z istotnych skutków działania skrajnie niskich temperatur na organizm ludzki w trakcie zabiegu kriostymulacji ogólnoustrojowej jest obniżenie ciepłoty ciała, głównie obszarów odsłoniętych. Zjawiska cieplne na powierzchni ciała ludzkiego są skutkiem: przemian metabolicznych w tkankach znajdujących się pod powierzchnią skóry, zmiany ukrwienia tkanek, przewodnictwa ciepłego tkanki mięśniowej i tłuszczowej oraz wymiany ciepła przez skórę z otoczeniem, w tym również wymiany gazowej [1, 16, 17, 18].

Wyniki badań własnych potwierdzają, że efektem oddziaływania niskich temperatur jest bardzo silne wychłodzenie ciała. Proces wychładzania dotyczy głównie tkanek powierzchniowych, ponieważ powłoki ciała oraz kończyny mają właściwości zmiennocięplne [1]. Temperatura narządów klatki piersiowej, jamy brzusznej, wnętrza czaszki i krwi pozostaje natomiast stała, dzięki czynności mikrokrążenia i zmianom intensywności komórkowych procesów metabolicznych. Ochronna rola powłok ciała w procesach adaptacji do zmieniających warunków termicznych związana jest głównie ze zmianami przepływu krwi [1, 2, 16, 17]. Do fizjologicznych mechanizmów zabezpieczających organizm przed wychłodzeniem jest termoregulacyjne zwężenie naczyń krwionośnych skóry. Przemieszczenie krwi z żył powierzchniowych do głębokich pozwala zachować właściwą temperaturę wnętrza organizmu. Porównania temperatury wewnętrznej organizmu i na jego powierzchni dokonuje ośrodek termoregulacji. Przy zbyt niskiej temperaturze uruchamiane są me-

chanizmy fizyczne i chemiczne zmierzające do ogrzania organizmu. Należą do nich pobudzenie termogenezy (zwiększenie napięcia tonicznego mięśni szkieletowych z drżeniem lub dreszczami) i zmniejszenie utraty ciepła (zwężenie naczyń krwionośnych, zmniejszenie produkcji potu) [2, 3, 4, 18].

Po zakończeniu schładzania obserwuje się w wielu badaniach zaskakującą inwersję temperatur – tkanki powierzchniowe stają się cieplejsze od tkanek głębokich, co dokonuje się na drodze intensywnej wymiany hemodynamicznej [18]. Zjawisko to zaobserwowano również w badaniach własnych, gdzie już po 30 minutach po zabiegu kriostymulacji temperatura powróciła prawie do wartości wyjściowych.

Badania osób poddanych zabiegom kriostymulacji ogólnoustrojowej wykazały, że obniżenie temperatury poszczególnych części ciała jest dość znacznie zróżnicowane. Największe obniżenie temperatury zarejestrowano w okolicach kończyn górnych i dolnych, co opisywano już w innych pracach [1, 4, 11, 12, 15]. Największą utratę ciepła wykazują te części ciała, które mają stosunkowo dużą powierzchnię w stosunku do swojej objętości. Wynika to z odmiennych mechanizmów termoregulacji tych okolic ciała oraz z różnicy temperatur panujących w komorze kriogenicznej na poziomie tułowia i stóp (około 10 °C). Duże różnice spadku temperatury powierzchni skóry pomiędzy tułowiem a kończynami można również tłumaczyć różnicami w budowie anatomicznej tych części ciała. W tułowiu znajdują się narządy produkujące większość ciepła w organizmie, a wytwarzane ciepło rozprawdane jest drogą krwionośną za pośrednictwem dużych naczyń tętniczych. W kończynach natomiast ciepło produkowane w mięśniach rozprawdane jest głównie przez drobne naczynia włosowate [1, 2].

Ogólnoustrojowe działanie temperatur kriogenicznych wywołuje wiele korzystnych reakcji organizmu. Odpowiedzią organizmu na ekstremalnie niskie temperatury jest uruchomienie naturalnych mechanizmów obronnych. Zasadniczą rolę odgrywają tutaj mechanizmy termoregulacyjne, od których zależą zarówno efekty kontrolowanego schładzania, jak i bezpieczeństwo metody. Ostatecznym celem termoregulacji jest zachowanie homeostazy ustroju. Za pośrednictwem termoreceptorów przekazywane są impulsy nerwowe do podwzgórza. Wywołane efekty termoregulacyjne są objawowo i leczniczo korzystne w wielu zmianach chorobowych, przeciążeniowych i pourazowych, a u ludzi zdrowych znacznie przyspieszają restytucję powysiłkową, co ma istotne znaczenie, między innymi w sporcie wyczynowym. Efekt krążeniowy krańcowo niskich temperatur przy ekspozycji na nie całego ciała dotyczy zarówno mikrokrążenia, jak i makrokrążenia krwi. O ile zmiany w mikrokrążeniu stanowią o leczniczym działaniu krioterapii, o tyle reakcje makrokrążeniowe są problemem bezpieczeństwa leczenia kriogenicznego [1, 2, 6].

Podsumowanie

Wyniki badań potwierdziły w sposób obiektywny, istotny wpływ skrajnie niskich temperatur na zmianę temperatury powierzchniowej ciała. Reakcja organizmu na ten bodziec jest zróżnicowana i niejednorodna, uzależniona od badanej okolicy ciała. Zmian takich nie zaobserwowano w grupie placebo ani w grupie poddanej działaniu innego bodźca stresującego.

Przeprowadzone badania eksperymentalne z losowym doбором badanych osób, z grupą placebo i grupą kontrolną, spełniają wymogi medycyny opartej na faktach. Uzyskane dane mogą być podstawą do zaleceń praktycznych wykorzystania krioterapii w rehabilitacji. ■

Literatura

1. A. Sieroń, G. Cieślak (red.): *Krioterapia – leczenie zimnem*, α-medica press, Bielsko-Biała 2007.
2. R. Suszko: *Krioterapia ogólnoustrojowa*, Rehabilitacja Medyczna, vol. 7(2), 2003, s. 63-71.
3. L.S. Chesterton, N.F. Foster, L. Ross i in.: *Skin Temperature Response to Cryotherapy*, Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, vol. 83, 2002, s. 543-549.
4. M. Rajewski, J. Łazowski: *Rozkład i dynamika zmian temperatury w wybranych punktach ciała w kriostymulacji ogólnoustrojowej*, Human Movement, vol. 1(5), 2002, s. 21-29.
5. E. Birkner, A. Sieroń, B. Beck i in.: *Zastosowanie temperatur kriogenicznych w medycynie*, Wiadomości Lekarskie, vol. 56, 2003, s. 54-56.
6. J. Bauer, P. Hurnik, J. Zdziarski i in.: *Zastosowanie termowizji w ocenie skutków krioterapii*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 3, 1997, s. 133-140.
7. A. Hanau, M. Stucker, T. Gambichler i in.: *Noninvasive diagnosis of skin functions*, Hautarzt, vol. 54(12), 2003, s. 1211-1223.
8. K. Dudek: *Thermography as a diagnosing system*, Systems, 1998, 3, s. 68-79.
9. A. Nowakowski (red.): *Postępy termografii – aplikacje medyczne*, Wyd. Gdańskie, Gdańsk 2001.
10. H. Madura (red.): *Pomiary termowizyjne w praktyce*, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2004.
11. A. Skrzek, J. Anwajler, K. Dudek i in.: *Rozkład temperatury na powierzchni ciała po kriostymulacji ogólnoustrojowej w badaniach termowizyjnych*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 13, 2007, s. 141-146.
12. Z. Śliwiński, P. Piłza: *Ocena termowizyjna gry naczyniowej kończyny górnej niedowładnej po kriostymulacji miejscowej u pacjentów po udarze mózgu*, Fizjoterapia Polska, vol. 2, 2002, s. 112-117.
13. A. Smaga, T. Paszkowski, S. Woźniak i in.: *Analysis of physiologic and abnormal pictures of uterine cervix by means of infrared thermography*, Ginekologia Polska, vol. 74(9), 2002, s. 847-854.
14. K. Kijewski, J. Magnuszewski, R. Żerek: *Przydatność badania termowizyjnego w ocenie skutków kriogenii ogólnoustrojowej*, Kwartalnik Ortopedyczny, vol. 1, 2001, s. 36-40.
15. A. Skrzek, J. Anwajler, K. Dudek i in.: *Zmienność temperatury ciała pod wpływem krioterapii ogólnoustrojowej u pacjentów z dolegliwościami bólowymi kręgosłupa w badaniach termowizyjnych*, Fizjoterapia Polska, vol. 7, 2007, s. 308-319.
16. P. Zalewski, K. Buszko, J.J. Klawe i in.: *Krótkoczasowa analiza termowizyjna skutków krioterapii ogólnoustrojowej u osób zdrowych*, Inżynieria Biomedyczna – Acta Bio-Optica et Informatica Medica, vol. 4(1), 2008, s. 272-277.
17. N. Zaproudina, V. Varmavuo, O. Airaksinen i in.: *Reproducibility of infrared thermography measurements in healthy individuals*, Physiological Measurements, vol. 29, 2009, s. 515-524.
18. C.S. Enwemeka, C. Allen, P. Avila i in.: *Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy*, Med. Sci. Sports Exerc., vol. 34(1), 2002, s. 45-50.

otrzymano / received: 18.09.2009 r.
zaakceptowano / accepted: 23.10.2009 r.