

RYTMIKA DOBOWYCH ZMIAN TEMPERATURY GŁĘBOKIEJ CIAŁA (CZĘŚĆ II): WPŁYW ŚRODOWISKA HIPERBARYCZNEGO NA OKOŁODOBOWĄ ZMIENNOŚĆ TEMPERATURY GŁĘBOKIEJ CIAŁA

Joanna Słomko¹⁾, Mariusz Kozakiewicz²⁾, Jacek J. Klawe¹⁾, Małgorzata Tafil-Klawe³⁾, Piotr Siermontowski⁴⁾, Paweł Zalewski¹⁾

¹⁾ Katedra Higieny, Epidemiologii i Ergonomii CM UMK w Bydgoszczy

²⁾ Katedra i Zakład Chemii Środków Spożywczych CM UMK w Bydgoszczy

³⁾ Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka CM UMK w Bydgoszczy

⁴⁾ Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej WIM w Gdyni

STRESZCZENIE

Celem badań była analiza dynamicznych zmian okołodobowej rytmiki temperatury głębokiej ciała u osób zdrowych poddanych ekspozycji w komorze hiperbarycznej, wykorzystując w pełni obiektywne - telemetryczne metody pomiarowe. Grupę badaną stanowiło 13 zdrowych mężczyzn (wiek $32 \pm 6,4$ lat; wysokość ciała $1,85 \pm 0,1$ m, masa ciała $84,00 \pm 6,3$ kg; BMI $24,7 \pm 1,2$ kg/m²). Pomiaru temperatury głębokiej ciała (CBT – Core Body Temperature) badanych osób dokonywano przy użyciu telemetrycznego systemu pomiarowego *Vital Sense*. Ochotnicy zostali umieszczeni w komorze hiperbarycznej i sprężeni do ciśnienia 400kPa, plateau ekspozycji wynosiło ok. 30 minut po czym nastąpiła stopniowana dekompresja. Średnia temperatura wewnętrzna zarejestrowana w przedziale czasowym 10 min przed ekspozycją wyniosła $T_{wew.} = 36,71^\circ\text{C}$, podczas ekspozycji $T_{wew.} = 37,20^\circ\text{C}$, godzinę po ekspozycji $T_{wew.} = 37,27^\circ\text{C}$, 2 godziny po ekspozycji $T_{wew.} = 37,36^\circ\text{C}$, 3 godziny po ekspozycji $T_{wew.} = 37,42^\circ\text{C}$. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że godzinny pobyt w komorze hiperbarycznej na głębokości 30 m wpływa na wzrost temperatury ciała, szczególnie istotny po zakończeniu i utrzymujący się przynajmniej 3 godziny po ekspozycji.

Słowa kluczowe: rytmika okołodobowa, temperatura ciała, hiperbaria.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2016 Vol. 57 Issue 4 pp. 19 - 28

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2016-0022

Strony: 10, rysunki: 3, tabele: 4

page www of the periodical: www.phr.net.pl

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadesłania: 12.09.2016r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.11.2016r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

Zmienność temperatury głębokiej ciała podlega wpływom wielu czynników, zarówno wewnętrznych (endogennych) – na drodze mechanizmów fizjologicznych i patofizjologicznych oraz zewnętrznych (egzogennych). Rytmu okołodobowe, infradobowe czy wiek biologiczny to przykłady czynników endogennych [1].

Wielu autorów wskazuje na silnie modulujący wpływ czynników środowiskowych, w tym środowiska hiperbarycznego na homeostazę organizmu. W zależności od czasu i rodzaju ekspozycji, nurek jest narażony na działanie różnych czynników fizycznych takich, a przede wszystkim na wysokie ciśnienie hydrostatyczne, fizykochemiczne oddziaływanie czynnika oddechowego oraz niska temperatura środowiska zewnętrznego.

Do czynników zakłócających, związanych z oddziaływaniem środowiska hiperbarycznego na organizm człowieka należy zaliczyć: toksyczne działanie tlenu, narkotyczne działanie gazów obojętnych, chorobę dekompresyjną, zakłócenia funkcji niektórych układów sensorycznych, w szczególności narządu wzroku, układu somatosensorycznego i przedsionkowego, oraz wychłodzenie organizmu [2,3].

Sprawnie działające mechanizmy regulacyjne i adaptacyjne powinny równoważyć wpływ czynników stresowych związanych z pobytem w warunkach hiperbarii na organizm nurka. W dostępnym piśmiennictwie brakuje doniesień naukowych dotyczących zmian temperatury głębokiej ciała zachodzących w organizmie nurka poddanego ekspozycji w komorze hiperbarycznej tj. z wykluczeniem wpływu temperatury wody na przebieg procesów termoregulacji.

Celem niniejszej pracy była analiza dynamicznych zmian okołodobowej rytmiki temperatury głębokiej ciała u osób zdrowych poddanych ekspozycji w komorze hiperbarycznej, wykorzystując obiektywne i nowoczesne metody pomiarowe.

MATERIAŁ I METODY

Grupa badana

Grupę badaną stanowiło 13 zdrowych mężczyzn. Główne kryteria kwalifikacji do badania, poza wyrażeniem dobrowolnej zgody na udział w badaniu, stanowiły: płeć, brak jakichkolwiek schorzeń oraz prawidłowa masa ciała (wskaźnik BMI: 18,5- 24,99 kg/m²) Kryteria wyłączenia z badania stanowiły: aktywny lub przewlekły proces chorobowy, przyjmowanie jakichkolwiek leków w trakcie eksperymentu badawczego. Charakterystykę podstawowych cech biologicznych osób badanych przedstawia Tabela 1.

Tab. 1

Charakterystyka podstawowych cech biologicznych osób badanych.

Cecha	Grupa badana (n= 13)
	średnia ± SD
Wiek, lata	32±6,4
Wysokość ciała, [cm]	179±8,7
Masa ciała, [kg]	83,4±14,7
BMI, [kg/m ²]	25,9±3,5

Vital Sense – telemetryczny pomiar temperatury głębokiej ciała.

Pomiaru temperatury głębokiej ciała (CBT – Core Body Temperature) badanych osób dokonywano przy użyciu telemetrycznego systemu pomiarowego Vital Sense firmy Mini Mitter, obecnie Philips Respironics (Vital Sense, Mini Mitter Co. Inc., Bend Oregon, USA). Szczegółowy opis użytej metody został przedstawiony w I części artykułu Rytmika dobową temperatury głębokiej ciała (część I): Zastosowanie nowoczesnych systemów telemetrycznych w monitorowaniu zmienności temperatury głębokiej ciała.

Charakterystyka ekspozycji

Ochotnicy zostali umieszczeni w komorze hiperbarycznej i sprężeni do ciśnienia 400kPa. Plateau ekspozycji wynosiło ok. 30 minut po czym nastąpiła stopniowana dekompresja, zgodnie z tabelami dekompresyjnymi Marynarki Wojennej RP (Tabela 2).

Ze względów bezpieczeństwa, aby zminimalizować ryzyko wystąpienia objawów niepożądanych - „bends”, po ekspozycji na 400 kPa (0,4 MPa – 0,3 MPa + 0,1 MPa ciśnienie atmosferyczne), stosowano dekompresję jak po nurkowaniu na głębokości 33 metrów, co równe jest ciśnieniu 440 kPa. W komorze hiperbarycznej w trakcie nurkowań, jako mieszaninę oddechową wykorzystano powietrze.

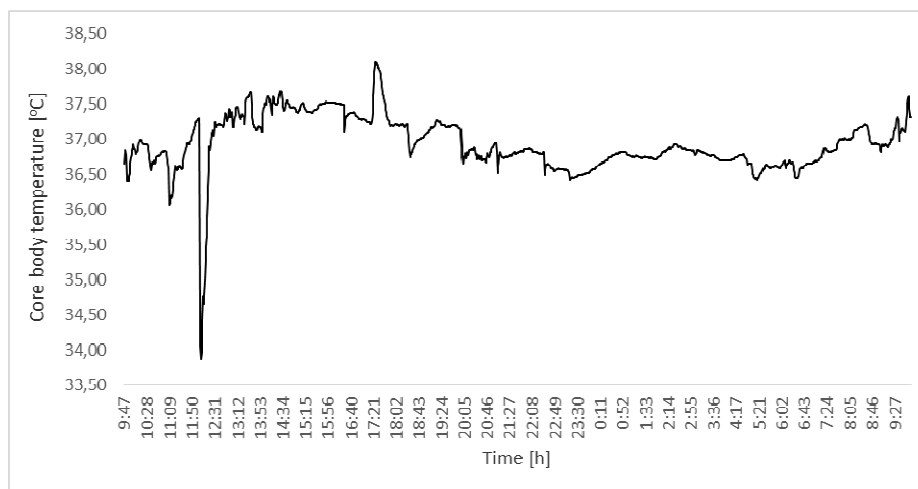
Tab. 2

Tabela dekompresyjna ekspozycji 30 m p. p. m.

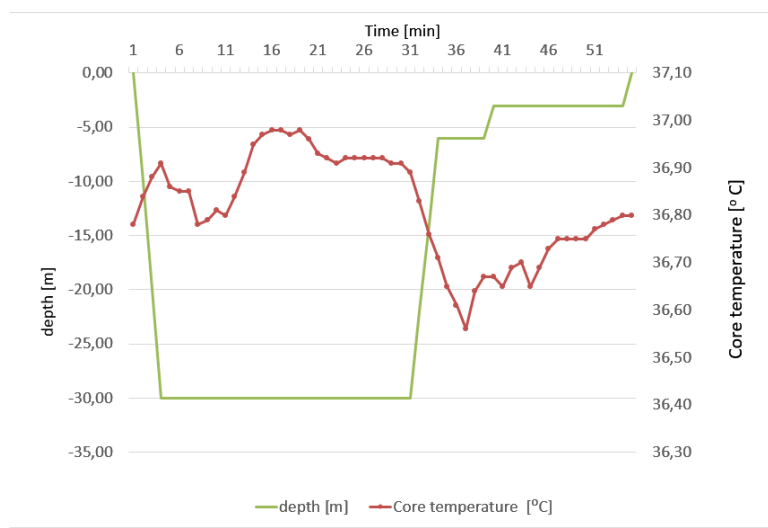
Ekspozycja (m p.p.m.)	Plateau (min)	Głębokość stopnia dekompresyjnego (m)			Ogólny czas dekompresji
		Czas pobytu na stopniu dekompresyjnym (min)			
33	30	9	6	33	30

Protokół badania

W celu oceny wpływu środowiska hiperbarycznego na temperaturę głęboką ciała, rejestrację temperatury wewnętrznej w sposób ciągły, rozpoczęto przed wejściem do komory hiperbarycznej, kontynuowano podczas godzinnej ekspozycji oraz przez kolejne 24 godziny (Ryc. 1, 2).



Ryc. 1. Przykładowy 24-godzinny zapis pomiaru temperatury głębokiej ciała u nurka poddanego ekspozycji w komorze hiperbarycznej.



Ryc. 2. Przykładowy zapis pomiaru temperatury głębokiej ciała u nurka podczas ekspozycji.

W celu szczegółowego prześledzenia dynamiki zmian temperatury wewnętrznej oraz uniknięcia pojawienia się błędów wynikających z możliwości wystąpienia pojedynczych i sporadycznych artefaktów pojawiających się podczas pomiaru temperatury, przyjęto specyficzną formę analizy pomiarów temperatury głębokiej. Uzyskane podczas całego badania sygnały podzielono na 15-minutowe odcinki pomiarowe, z których wyliczono wartości średnie zmierzonej temperatury głębokiej i poddano dalszej statystycznej.

Dla potrzeb niniejszego artykułu przedstawiono analizę statystyczną 16 odcinków pomiarowych (OP_01 – OP_16) oznaczających: OP_01 – pomiar 10 minut przed rozpoczęciem ekspozycji, OP_02-OP_05 – ekspozycja, OP_06-OP_09 – godzina po ekspozycji, OP_10-OP_13 – 2 godziny po ekspozycji, OP_14-OP_16 – 3 godziny po ekspozycji.

Metody statystyczne

Normalność rozkładu zmiennych ciągłych oceniano przy pomocy testu *Shapiro-Wilka*, a ich charakterystyki statystyczne przedstawiono w postaci średnich arytmetycznych i odchyłeń standardowych (\pm SD) oraz wyliczonych wartości minimalnych i maksymalnych. Wyniki analizowano wykorzystując test rang Friedmana oraz test Kendala. Wszystkie obliczenia wykonano przy pomocy pakietu *Statistica 10* (StatSoft), przyjmując poziom istotności statystycznej $\alpha < 0,05$.

WYNIKI

Wartości temperatury głębokiej ciała uzyskane podczas ekspozycji na środowisko hiperbaryczne przedstawiono w tabeli 3 (OP- odcinek pomiarowy). Średnia temperatura wewnętrzna zarejestrowana w przedziale czasowym 10 min przed ekspozycją wyniosła $T_{wew.}=36,71^{\circ}\text{C}$, podczas ekspozycji $T_{wew.} = 37,20^{\circ}\text{C}$, godzinę po ekspozycji $T_{wew.} = 37,27^{\circ}\text{C}$, 2 godziny po ekspozycji $T_{wew.} = 37,36^{\circ}\text{C}$, 3 godziny po ekspozycji $T_{wew.} = 37,42^{\circ}\text{C}$.

Tab. 3.

Statystyki podstawowe zarejestrowanych zmian temperatury głębokiej ciała w obrębie wszystkich ocenianych odcinków pomiarowych.

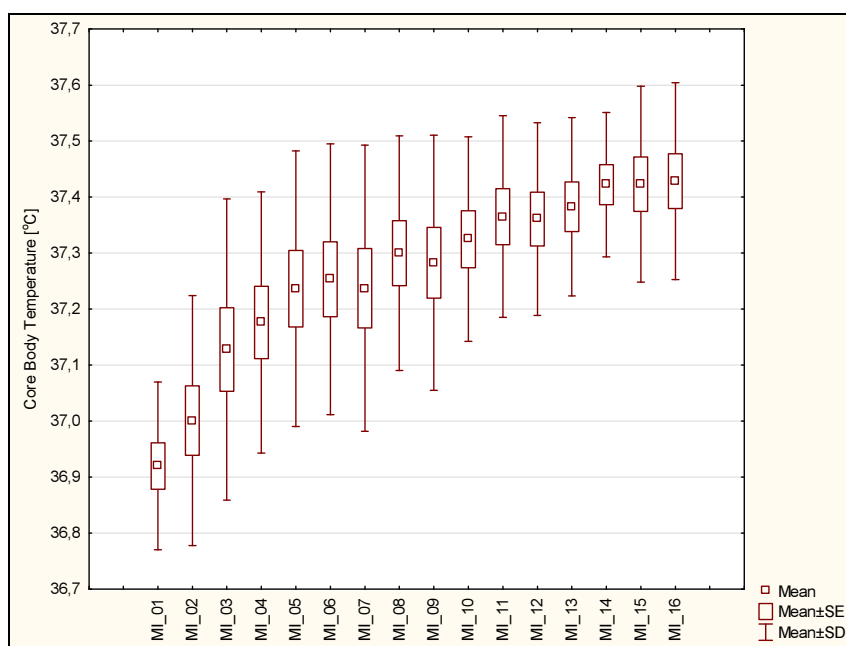
	N	Średnia	Minimum	Maksimum	SD
OP_01	13	36,92	36,71	37,20	0,15
OP_02	13	37,00	36,70	37,61	0,22
OP_03	13	37,13	36,69	37,77	0,27
OP_04	13	37,18	36,73	37,58	0,23
OP_05	13	37,24	36,76	37,66	0,25
OP_06	13	37,25	36,80	37,69	0,24
OP_07	13	37,24	36,76	37,73	0,26
OP_08	13	37,30	36,93	37,72	0,21
OP_09	13	37,28	36,93	37,72	0,23
OP_10	13	37,32	37,02	37,72	0,18
OP_11	13	37,37	37,10	37,73	0,18
OP_12	13	37,36	37,12	37,74	0,17
OP_13	13	37,38	37,12	37,71	0,16
OP_14	13	37,42	37,20	37,69	0,13
OP_15	13	37,42	37,17	37,68	0,17
OP_16	13	37,43	37,07	37,64	0,18

Tab. 4

Absolutne różnice pomiędzy średnimi rang OP_01 a pozostałymi odcinkami pomiarowymi (różnice rang > 6,59 na poziomie istotności < 0,05 oznaczono *).

Odcinek pomiarowy	OP_01
OP_01	---
OP_02	1,77
OP_03	2,69
OP_04	4,69
OP_05	5,61
OP_06	5,96
OP_07	6,04
OP_08	8,04*
OP_09	7,58*
OP_10	8,54*
OP_11	10,15*
OP_12	9,88*
OP_13	10,58*
OP_14	11,38*
OP_15	10,69*
OP_16	10,23*

W trakcie badania odnotowano istotne różnice temperatury głębokiej ciała pomiędzy OP_01 a OP_08, OP_09, OP_10, OP_11, OP_12, OP_13, OP_14, OP_15, OP_16 (Tab. 3).



Ryc. 3. Zarejestrowane zmiany wartości temperatury głębokiej ciała na poszczególnych odcinkach pomiarowych.

DYSKUSJA

Przebywanie w środowisku hiperbarycznym zmienia przebieg okołodobowy temperatury głębokiej ciała. Z przeprowadzonych obserwacji wynika, że godzinny pobyt w komorze hiperbarycznej na głębokości 30 m wpływa na wzrost temperatury ciała, szczególnie istotny po zakończeniu i utrzymujący się przynajmniej 3 godziny po ekspozycji.

W wyniku adaptacji organizmu do podwyższonego ciśnienia środowiska dochodzi do wzrostu temperatury głębokiej ciała co skutkuje zwiększonym ukrwieniem tkanek ułatwiając wymianę gazową w pierwszej fazie nurkowania oraz pobytu na głębokości 30 m i usuwanie nadmiernej ilości gazów podczas powrotu do normobarii.

W związku z tym, że największa absorpcja gazów obojętnych następuje w pierwszej fazie (i zazwyczaj najgłębszej) nurkowania, takie zachowanie może znacznie podnieść stopień saturacji tkanek. W ostateczności może to spowodować ryzyko choroby dekompresyjnej w czasie danego nurkowania. Na wyspie Vancouver w Kolumbii Brytyjskiej przeprowadzono badania z nurkowaniami powtórzeniowymi [4]. Uczestnicy nurkowań ubrani byli w skafandry mokre, zarówno dobrze jak i źle dobrane do warunków. Woda miała około 10°C.

Używając ultrasonografu dopplerowskiego, naukowcy mierzyli obecność i liczebność pęcherzyków gazowych będących we krwi nurków. Zaobserwowali oni mniej pęcherzyków u nurków gorzej ubranych. Wywnioskowali z tego, że kiedy nurkowi jest zimno przed nurkowaniem, obkurczenie naczyń krwionośnych zapobiega przepływowi krwi w kończynach, co z kolei prowadzi do ograniczenia absorpcji gazów obojętnych. Niższa absorpcja gazów obojętnych spowodowała, że było ich mniej na końcu nurkowania.

Dotychczas opisywany w literaturze jest wpływ temperatury wody na zaburzenia termoregulacji w organizmie nurka. W miarę obniżania się temperatury wody dochodzi do wzrostu przemian metabolicznych proporcjonalnie do spadku temperatury zarówno głębokiej ciała jak i powierzchni skóry. W zimnej wodzie skurcz naczyń skórnych inicjowany jest obniżaniem się temperatury powierzchni skóry. Jednakże spadek temperatury głębokiej wpływa na wzrost aktywności części współczulnej autonomicznego układu nerwowego powodując skurcz naczyń podczas przedłużającej się ekspozycji na zimno [5,6].

Wyniki badań wskazują, że zanurzenie w wodzie o temperaturze 32°C nie wpływa na temperaturę głęboką ciała i tempo przemian materii; zanurzenie w temperaturze 20°C istotnie obniża temperaturę i zwiększona tempo metabolizmu o 93%; zanurzenie w wodzie o temperaturze 14°C również obniża temperaturę i zwiększone tempo metabolizmu o 350% [7].

Wykazano ponadto, że tlenek azotu jest swoistym mediatorem regulującym zmiany temperatury ciała przede wszystkim dotyczące produkcji ciepła zwłaszcza w brunatnej tkance tłuszczowej. Pod wpływem stymulacji układu współczulnego brunatna tkanka tłuszczowa produkuje tlenek azotu (NO), który przypuszczalnie dyfunduje przez łożysko naczyń i bierze udział w procesach termogenezy [8].

Osiągana głębokość podczas nurkowania również jest czynnikiem wpływającym na stres cieplny poprzez wpływ ciśnienia hydrostatycznego na zwiększone przewodnictwo cieplne. Matsuda i wsp. wykazali, że reakcja termiczna, tj. obniżenie temperatury ciała i zwiększenie przewodnictwa cieplnego była znacznie bardziej wyrażona w warunkach środowiska hel-tlen 11-ATA niż 1 ATA powietrza [9].

WNIOSKI

Podsumowując, ekspozycja hiperbaryczna (komorze hiperbarycznej na głębokości 30 m) zmienia przebieg okołodobowy temperatury głębokiej ciała powodując krótkotrwały wzrost temperatury ciała, szczególnie istotny po zakończeniu i utrzymujący się przynajmniej 3 godziny po ekspozycji. Uzyskane wyniki prawdopodobnie wynikają z procesów adaptacyjnych organizmu, gdyż zgodnie z prawami gazowymi wzrost temperatury głębokiej i lepsze ukrwienie tkanek ułatwia pozbywanie się gazów z tkanek.

BIBLIOGRAFIA

1. Someren EJW, Raymann RJEM, Scherder EJA, Daanen HAM, Swabb DF: Circadian and age-related modulation of thermoreception and temperature regulation: mechanisms and functional implications. *Ageing Research Reviews* 2002; 1, 721- 778;
2. Buzzacott P, Denoble PJ, Simon O, Dunford R, Vann RD: Dive problems and risk factors for diving morbidity. *Diving Hyperb Med*, 2009. 39(4): p. 205-9;
3. Perovic A, Unic A, Dumic J: Recreational scuba diving: negative or positive effects of oxidative and cardiovascular stress? *Biochem Med (Zagreb)*, 2014. 24(2): p. 235-47. DOI: 10.11613/BM.2014.026;
4. Mekjavic IB, Kakitsuba N: Effect of peripheral temperature on the formation of venous gas bubbles. *Undersea Biomed Res* 1989; 16(5): 391-401;
5. Pendergast DR, Lundgren CEG: The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands. *J Appl Physiol* 2009. 106: 276-283. DOI: 10.1152/jappphysiol.90984.2008;
6. Pendergast DR: The effect of body cooling on oxygen transport during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 20, Suppl: S171-S176, 1988;
7. Sramek P, Simeckova M, Jansky L, Savlikova J, Vybiral S: Human physiological responses to immersion into water of different temperatures. *Eur J Appl Physiol*. 2000 Mar;81(5):436-42;
8. Simon E: Nitric oxide as a peripheral and central mediator in temperature regulation. *Amino Acids* 14: 87-93, 1998;
9. Matsuda M, Nakayama H, Arita H, Morlock JF, Claybaugh J, Smith RM, Hong SK: Physiological responses to head-out immersion in water at 11 ATA. *Undersea Biomed Res*. 1978 Mar;5(1):37-52.

Joanna Słomko

Katedra Higieny, Epidemiologii i Ergonomii CM UMK
ul. M. Skłodowskiej-Curie 9
85-094 Bydgoszcz
E-mail: jslomko@cm.umk.pl