

**CIRCADIAN RHYTHM OF CORE BODY TEMPERATURE (PART II): HYPERBARIC ENVIRONMENT  
INFLUENCE ON CIRCADIAN RHYTHM OF CORE BODY TEMPERATURE**

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

**РИТМИКА СУТОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛУБОКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА (ЧАСТЬ II);  
ВЛИЯНИЕ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА СУТОЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ГЛУБОКОЙ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА**

**RHYTHMIK DER CIRKADIANEN ÄNDERUNGEN IN DER KÖRPERKERNTEMPERATUR (TEIL II):  
DER EINFLUSS EINER HYPERBAREN UMGEBUNG AUF DIE CIRKADIANEN ÄNDERUNGEN DER  
KÖRPERKERNTEMPERATUR**

**RITMOS CIRCADIANOS, CAMBIOS EN LA TEMPERATURA CORPORAL PROFUNDA (PARTE II):  
INFLUENCIA DEL ENTORNO HIPERBÁRICO EN LOS CAMBIOS DE LA TEMPERATURA CORPORAL  
PROFUNDA DURANTE LOS RITMOS CIRCADIANOS**

Joanna Słomko<sup>1)</sup>, Mariusz Kozakiewicz<sup>2)</sup>, Jacek J. Klawe<sup>1)</sup>, Małgorzata Tafil-Klawe<sup>3)</sup>, Piotr Siermontowski<sup>4)</sup>,  
Paweł Zalewski<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Chair of Hygiene, Epidemiology and Ergonomics, CM UMK, Bydgoszcz, Poland

<sup>1)</sup> Katedra Higieny, Epidemiologii i Ergonomii CM UMK w Bydgoszczy

<sup>2)</sup> Chair and Department of Chemistry of Foodstuffs, CM UMK, Bydgoszcz, Poland

<sup>2)</sup> Katedra i Zakład Chemii Środków Spożywczych CM UMK w Bydgoszczy

<sup>3)</sup> Department of Human Physiology, CM UMK, Bydgoszcz, Poland

<sup>3)</sup> Katedra Fizjologii, Zakład Fizjologii Człowieka CM UMK w Bydgoszczy

<sup>4)</sup> Naval and Hyperbaric Medicine Department, WIM, Gdynia, Poland

<sup>4)</sup> Zakład Medycyny Morskiej i Hiperbarycznej WIM w Gdyni

**STRESZCZENIA / ABSTRACTS**

The aim of this study was to analyse dynamic fluctuations in the circadian rhythm of the core body temperature in healthy adults exposed to conditions in a hyperbaric chamber, using fully objective-telemetric measurement methods. The study group consisted of 13 healthy males (age 32±6.4 years, height 1.85±0.1 m, body weight 84.00±6.3 kg; BMI 24.7±1.2 kg/m<sup>2</sup>). The core body temperature (CBT) was measured with the *Vital Sense* telemetry system. The volunteers were placed in a hyperbaric chamber, exposed to compression of 400 kPa, with the exposure plateau of approx. 30 minutes, followed by gradual decompression. The mean core temperature was 36.71°C when registered within 10 minutes before the exposure, 37.20°C during the exposure, 37.27°C one hour after the exposure, 37.36°C 2 hours after the exposure, and 37.42°C three hours after the exposure. The conducted observations show that one-hour stay in a hyperbaric chamber at a depth of 30 m results in an increase in the body temperature, particularly significant after the exposure ends, and maintained for at least 3 hours after the exposure.

**Key words:** circadian rhythm, body temperature, hyperbaric.

---

ARTICLE INFO

---

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

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2016-0022

Pages: 10, figures: 3, tables: 4

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

**Publisher**

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny  
Original article

Termin nadesłania: 12.09.2016r.

Termin zatwierdzenia do druku: 15.11.2016r.



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/m<sup>2</sup>). 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.

Целью исследования был анализ динамических изменений суточной ритмики глубокой температуры тела у здоровых людей, прошедших экспозицию в гипербарической камере, с применением полностью объективных, телеметрических методов измерения. Группа испытуемых состояла из 13 здоровых мужчин (возраст  $32\pm 6,4$  лет; рост  $1,85\pm 0,1$  м, масса тела  $84,00\pm 6,3$  кг; BMI  $24,7\pm 1,2$  кг/м<sup>2</sup>). Измерение глубокой температуры тела (*CBT – Core Body Temperature*) у испытуемых производилось при помощи телеметрической измерительной системы *Vital Sense*. Добровольцы были помещены в гипербарическую камеру с давлением 400 кПа, плато экспозиции составило ок. 30 минут, после чего наступила постепенная декompresия. Средняя внутренняя температура тела, зарегистрированная за 10 минут до экспозиции, составила  $T_{внутр.} = 36,71^{\circ}\text{C}$ , во время  $T_{внутр.} = 37,20^{\circ}\text{C}$ , через час после экспозиции  $T_{внутр.} = 37,27^{\circ}\text{C}$ , через 2 часа после экспозиции  $T_{внутр.} = 37,36^{\circ}\text{C}$ , через 3 часа после экспозиции  $T_{внутр.} = 37,42^{\circ}\text{C}$ . Из наблюдений следует, что часовое пребывание в гипербарической камере на глубине 30 м оказывает влияние на повышение температуры тела, которое особенно значимо после окончания и удерживается как минимум 3 часа после экспозиции.

**Ключевые слова:** суточные ритмы, температура тела, гипербария.

Ziel dieser Untersuchung war die Analyse der dynamischen Veränderungen der circadianen Rhythmik der Körperkerntemperatur bei gesunden Testpersonen, die in einer Überdruckkammer Druckausgesetzt wurden - unter Anwendung objektiver, telemetrischer Messverfahren. Die untersuchte Gruppe bestand aus 13 gesunden Männern (Alter  $32\pm 6,4$  lat; Größe  $1,85\pm 0,1$  m, Gewicht  $84,00\pm 6,3$  kg; BMI  $24,7\pm 1,2$  kg/m<sup>2</sup>). Die Messung der Körperkerntemperatur (*CBT – Core Body Temperature*) der untersuchten Personen wurde anhand des telemetrischen Messsystems *Vital Sense* vorgenommen. Die freiwilligen Testpersonen wurden in einer Druckkammer untergebracht und einem Druck von 400kPa für ca. 30 Minuten ausgesetzt, woraufhin eine stufenweise Dekompensation erfolgte. Die in Zeitintervallen von 10 Minuten gemessene Durchschnittstemperatur vor der Exposition betrug  $36,71^{\circ}\text{C}$ , während der Exposition  $T_{wew.} = 37,20^{\circ}\text{C}$ , eine Stunde nach der Exposition  $T_{wew.} = 37,27^{\circ}\text{C}$ , 2 Stunden nach der Exposition  $T_{wew.} = 37,36^{\circ}\text{C}$ , 3 Stunden nach der Exposition  $T_{wew.} = 37,42^{\circ}\text{C}$ . Aus den Beobachtungen geht hervor, dass eine Stunde Aufenthalt in einer Überdruckkammer in 30 m Tiefe Einfluss auf die Zunahme der Körpertemperatur hat, insbesondere nach Abschluss und dem dreistündigen Fortbestehen nach der Exposition.

**Schlüsselwörter:** circadiane rhythmik, körpertemperatur, hyperbarität.

El objetivo del estudio ha sido el de analizar los cambios dinámicos producidos en la temperatura corporal profunda durante los ritmos circadianos, en sujetos sanos expuestos a una cámara hiperbárica, utilizando únicamente datos objetivos, obtenidos a través de métodos telemétricos. El grupo de estudio lo han compuesto 13 varones sanos (edad  $32\pm 6,4$  años; altura  $1,85\pm 0,1$  m, peso corporal  $84,00\pm 6,3$  kg; BMI  $24,7\pm 1,2$  kg/m<sup>2</sup>). La medición de la temperatura corporal profunda (*CBT – Core Body Temperature*) de los sujetos sometidos a estudio se ha llevado a cabo mediante el uso de un sistema de medición telemétrico *Vital Sense*. Los voluntarios fueron situados en una cámara hiperbárica y sometidos a una presión de 400kPa durante un período de unos 30 minutos, seguidos de una descompresión progresiva. La temperatura interna media registrada en el intervalo de tiempo 10 minutos anterior a la exposición fue de  $T_{int.} = 36,71^{\circ}\text{C}$ , durante la exposición  $T_{int.} = 37,20^{\circ}\text{C}$ , una hora tras la exposición  $T_{int.} = 37,27^{\circ}\text{C}$ , 2 horas tras la exposición  $T_{int.} = 37,36^{\circ}\text{C}$ , 3 horas tras la exposición  $T_{int.} = 37,42^{\circ}\text{C}$ . Las observaciones realizadas indican que una estancia de una hora en una cámara hiperbárica a una profundidad de 30 m incide en el aumento de la temperatura corporal, especialmente significativo al final del proceso, y que se mantiene al menos 3 horas después de la exposición.

**Palabras clave:** ritmos circadianos, temperatura corporal, hiperbaria.

## 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/m<sup>2</sup>) 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.

## INTRODUCTION

Changes in the core body temperature are influenced by numerous factors, both endogenous, in the form of physiological and pathophysiological mechanisms, and exogenous. Circadian or infradian rhythms, or biological age are examples of endogenous factors [1].

Many authors report a strongly modulating influence of environmental factors on homeostasis, including the hyperbaric environment. Depending on exposure time and type, a diver is exposed to various physical factors including, first of all, high hydrostatic pressure, physical and chemical effects of a respiratory agent, and low ambient temperatures.

Interfering agents associated with the effect of the hyperbaric environment on the human body include: the toxic effect of oxygen, the narcotic effect of inert gases, decompression sickness, the abnormal functioning of some sensory systems (in particular sight, somatosensory and vestibular systems), and hypothermia [2,3].

Effectively functioning regulation and adaptation mechanisms in the divers body should counterbalance the effects of stress agents associated with staying in hyperbaric conditions. In the available literature there are no reports on changes in the core body temperature occurring in a diver's body exposed to conditions in the hyperbaric chamber, i.e. excluding the influence of water temperature on thermoregulatory processes.

The aim of this study was to analyse dynamic fluctuations in the circadian rhythm of the core body temperature in healthy adults exposed to conditions in a hyperbaric chamber, using objective and modern measurement methods.

## MATERIAL AND METHODS

### Study group

The study group consisted of 13 healthy men. Apart from giving a voluntary informed consent to participation in the study, the main enrolment criteria included being of the male sex, an absence of diseases and the possession of the correct body mass (BMI: 18.5- 24.99 kg/m<sup>2</sup>). Exclusion criteria included: an active or chronic disease and taking any medicines throughout the study. The basic biological parameters of the studied group are characterised in Table 1.

Basic biological parameters of studied group.

Charakterystyka podstawowych cech biologicznych osób badanych.

Parameter	Studied group (n= 13) mean $\pm$ SD
Age, years	32 $\pm$ 6.4
Body height [cm]	179 $\pm$ 8.7
Body weight, [kg]	83.4 $\pm$ 14.7
BMI, [kg/m <sup>2</sup> ]	25.9 $\pm$ 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 dobowy 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.

Vital Sense – telemetric measurements of the core body temperature

In the subjects the core body temperature (CBT) was measured with the Vital Sense telemetry system from Mini Mitter, currently Philips Respironics (Vital Sense, Mini Mitter Co. Inc., Bend Oregon, USA). The system consists of two components: a mobile recording display storing and exporting digital data for measured temperature values, and a telemetric capsule - Core Body Temperature Capsule (CBTC) (Fig. 1).

The telemetric capsule transmits the measured core body temperature values by radio. The telemetric system consists of an internal thermistor and of an external cover made of plastic adapted to medical applications. A study subject swallows the capsule with a small amount of warm water. After approximately one minute the capsule starts measuring the body's core temperature and emitting a radio signal at 15 second intervals; the display saves an average value of four successive measurements. The registered and transmitted values of the core temperature are saved in the display's internal memory. The telemetric capsule is resistant to digestive enzymes, and excreted without any side effects or effect on the gastrointestinal tract function.

Exposure characteristics

The volunteers were placed in a hyperbaric chamber and exposed to a compression of 400 kPa. The exposure plateau was equal to approx. 30 minutes, and followed by gradual decompression in accordance with the decompression tables of the Polish Navy (Table 2). For safety reasons, to minimise the risk of side effects – “bends”, the decompression pattern used following the exposure to 400 kPa (0.4 MPa–0.3 MPa + 0.1 MPa atmospheric pressure) was the same as after diving at 33 meters, which corresponds to the pressure of 440 kPa. Air was the breathing gas used during all dives in the hyperbaric chamber.

Decompression chamber following exposure at 30 m below sea level (bsl).

Tabela dekompresyjna ekspozycji 30 m p. p. m.

Exposure (m bsl)	Plateau (min.)	Decompression stop depth (m)			Overall decompression duration
		9	6	3	
33	30	9	6	3	35 minutes

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).

Study protocol

To evaluate the effect of the hyperbaric environment on the core body temperature, a continuous monitoring of the core body temperature was started before subjects entered the hyperbaric chamber, and continued during one hour of exposure and for the following 24 hours (Fig. 1, 2).

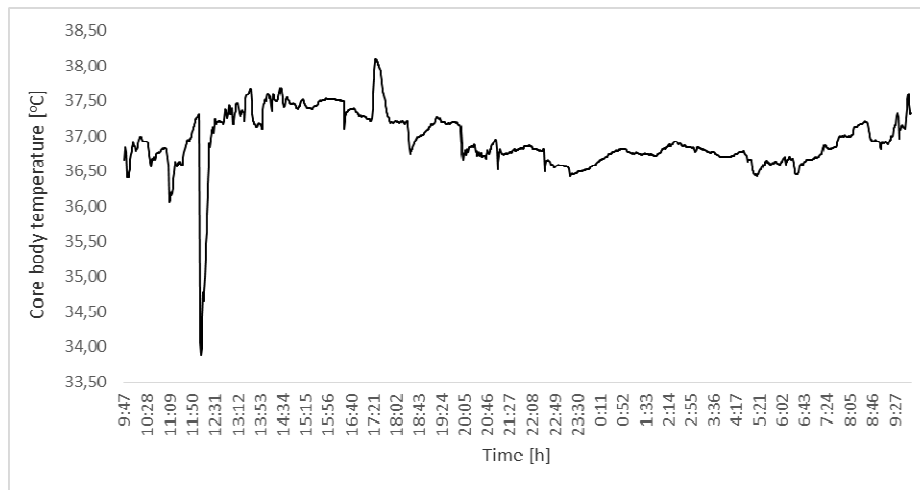


Fig. 1. An example of a 24 hour recording of the core body temperature in a diver exposed to conditions of the hyperbaric chamber.

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

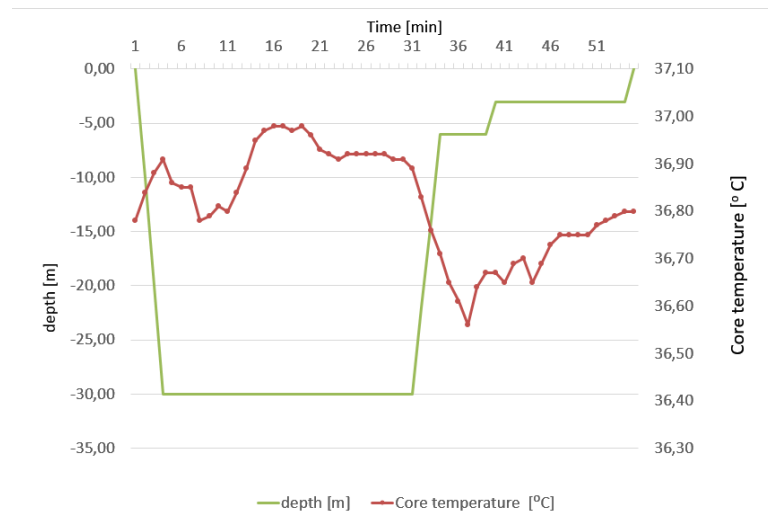


Fig. 2. An example of a recording of the core body temperature in a diver during exposure.

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 analizie 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 rangi 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  $T_{wew.} = 37,42^{\circ}\text{C}$ .

To obtain a detailed analysis of the dynamics of core temperature fluctuations, and avoid errors resulting from possible single and occasional anomalies appearing during temperature measurements, a specific form of analysis of core temperature measurements was applied. Signals obtained throughout the study were divided into 15-minute measurement intervals, for which the mean averages of measured core temperature were calculated and then analysed statistically.

For the purpose of this publication, a statistical analysis of 16 measurement intervals was presented (MI\_01–MI\_16), corresponding to: MI\_01 – measurement taken 10 minutes prior to the exposure, MI\_02–MI\_05 – during the exposure, MI\_06–MI\_09 – one hour after the exposure, MI\_10–MI\_13 – 2 hours after the exposure, and MI\_14–MI\_16 – 3 hours after the exposure.

#### Statistical methods

The normality of variabilities distribution was evaluated with the *Shapiro-Wilk* test, and their statistical characteristics were presented as arithmetic means and standard deviations ( $\pm$ SD), as well as calculated minimum and maximum values. The results were analysed using the Friedman's test and Kendall rank correlation. All calculations were performed with the *Statistica 10* (StatSoft) package, with the assumed level of statistical significance of  $\alpha < 0,05$ .

### RESULTS

Values of the core body temperature obtained during exposure to the hyperbaric environment are presented in Table 3 (MI – measurement interval). The mean core temperature was  $36,71^{\circ}\text{C}$ , when registered within 10 minutes before the exposure,  $37,20^{\circ}\text{C}$  during the exposure,  $37,27^{\circ}\text{C}$  one hour after the exposure,  $37,36^{\circ}\text{C}$  two hours after the exposure, and  $37,42^{\circ}\text{C}$  three hours after the exposure.

Tab. 3.

Basic statistical parameters of registered changes in the core body temperature for all evaluated measurement intervals.

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

	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Standard deviation</b>
<b>MI_01</b>	13	36,92	36,71	37,20	0,15
<b>MI_02</b>	13	37,00	36,70	37,61	0,22
<b>MI_03</b>	13	37,13	36,69	37,77	0,27
<b>MI_04</b>	13	37,18	36,73	37,58	0,23
<b>MI_05</b>	13	37,24	36,76	37,66	0,25
<b>MI_06</b>	13	37,25	36,80	37,69	0,24
<b>MI_07</b>	13	37,24	36,76	37,73	0,26
<b>MI_08</b>	13	37,30	36,93	37,72	0,21
<b>MI_09</b>	13	37,28	36,93	37,72	0,23
<b>MI_10</b>	13	37,32	37,02	37,72	0,18
<b>MI_11</b>	13	37,37	37,10	37,73	0,18
<b>MI_12</b>	13	37,36	37,12	37,74	0,17
<b>MI_13</b>	13	37,38	37,12	37,71	0,16
<b>MI_14</b>	13	37,42	37,20	37,69	0,13
<b>MI_15</b>	13	37,42	37,17	37,68	0,17
<b>MI_16</b>	13	37,43	37,07	37,64	0,18

Tab. 4

Absolute differences between mean MI\_01 ranks and other measurement intervals (rank differences > 6.59, at the confidence level of < 0.05, were marked as \*).

Absolutne różnice pomiędzy średnimi rang OP\_01 a pozostałymi odcinkami pomiarowymi (różnice rang > 6,59 na poziomie istotności < 0,05 oznaczono \*).

<b>Measurement interval</b>	<b>MI_01</b>
<b>MI_01</b>	---
<b>MI_02</b>	1,77
<b>MI_03</b>	2,69
<b>MI_04</b>	4,69
<b>MI_05</b>	5,61
<b>MI_06</b>	5,96
<b>MI_07</b>	6,04
<b>MI_08</b>	8,04*
<b>MI_09</b>	7,58*
<b>MI_10</b>	8,54*
<b>MI_11</b>	10,15*
<b>MI_12</b>	9,88*
<b>MI_13</b>	10,58*
<b>MI_14</b>	11,38*
<b>MI_15</b>	10,69*
<b>MI_16</b>	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).

During the study, significant differences in the core body temperature were noted between MI\_01 and MI\_08, MI\_09, MI\_10, MI\_11, MI\_12, MI\_13, MI\_14, MI\_15, MI\_16 (Table 3).

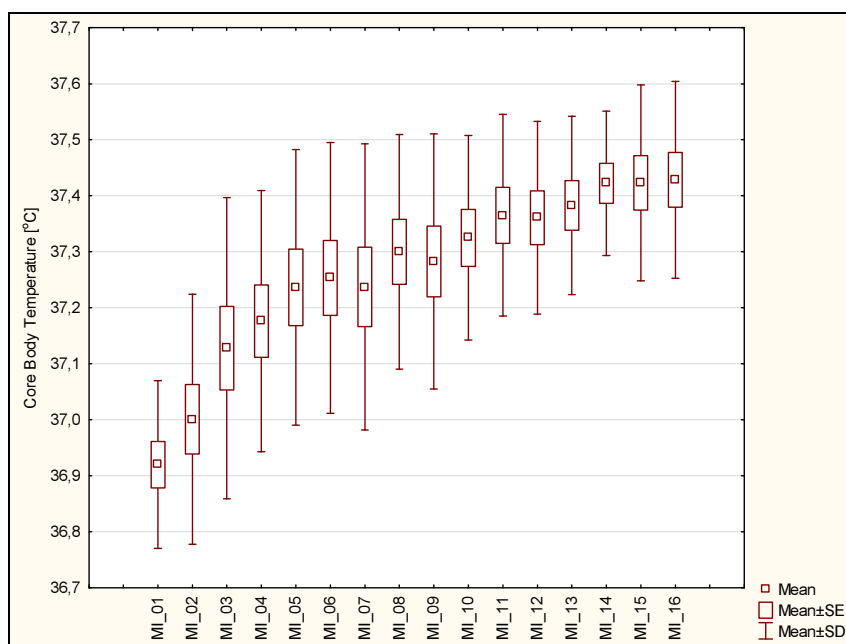


Fig. 3. Recorded changes in the core body temperature for each measurement interval.

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

## DISCUSSION

Exposure to the hyperbaric environment changes the circadian rhythm of the core body temperature. The conducted observations show that a one-hour stay in a hyperbaric chamber at a depth of 30 m results in an increase in body temperature, particularly significant after the exposure ends, and is maintained for at least 3 hours after the exposure.

When the body adapts to the increased pressure in its environment, the core body temperature rises, resulting in an increased blood flow to tissues, facilitating gas exchange during the first phase of diving, the stay at 30 m bsl and removal of excessive amounts of gases when returning to normobaric conditions.

As the highest absorption of inert gases occurs during the first (and usually the deepest) stage of diving, this mechanism may significantly increase tissue perfusion. Ultimately, it may pose a risk of decompression disease during diving. Studies on repeated diving were conducted on Vancouver Island in British Columbia [4]. The divers wore wet suits, both well and poorly suited to the conditions. The water temperature was approx. 10°C.

Using a Doppler ultrasound transducer, the researchers measured the presence and number of gas bubbles in the divers' blood. They observed lower levels of bubbles in divers dressed unsuitably. The researchers concluded that when a diver is cold before diving, constriction of blood vessels hinders blood flow in their limbs, resulting in turn in a limited absorption of inert gases. A lower absorption of inert gases led to their lower levels at the end of diving.

Previously, the available reports described the



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 obniżona 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 przyczynia się do 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.

## BIBLIOGRAPHY

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;

effect of water temperature on disrupted thermoregulation in divers. With decreasing water temperature, metabolic processes increase proportionally to a drop both in the core body and in skin surface temperature. In cold water vasoconstriction in the skin is triggered by a decrease in skin surface temperature. However, a drop in the core body temperature influences an increase in the activity of the sympathetic nervous system, resulting in vasoconstriction during prolonged exposure to cold [5,6].

Research results indicate that immersion in water of 32°C does not influence the core body temperature and metabolism, while immersion in water of 20°C significantly reduces the temperature and increases the metabolic rate by 93%; immersion in water of 14°C also reduces the temperature and increases the metabolic rate by 350% [7].

It was also indicated that nitrogen oxide is a specific mediator controlling changes in body temperature, particularly in terms of heat production, especially in the brown adipose tissue. Following stimulation of the sympathetic system, brown adipose tissue produces nitrogen oxide (NO) which possibly diffuses through the vascular bed and participates in thermogenesis processes [8].

The depth reached during diving is also a factor influencing heat stress through the hydrostatic pressure influence on the increased thermal conductivity. Mastuda et al. demonstrated that the thermal reaction, i.e. a reduction in the body temperature and the increased thermal conductivity was more pronounced in conditions of helium-oxygen at 11 ATA than in air at 1 ATA [9].

## CONCLUSIONS

Hyperbaric exposure (in a hyperbaric chamber at a depth of 30 m) changes the circadian rhythm of the core body temperature in the form of a short-term increase in body temperature, which is particularly significant when the exposure ends, and is maintained for at least 3 hours after the exposure. The obtained results are possibly a consequence of the body's adaptive processes, as according to the gas laws, an increase in the core body temperature and better tissue perfusion facilitate removal of gases from tissues.

5. Pendergast DR, Lundgren CEG: The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands. *J Appl Physiol* 2009. 106: 276-283. DOI: 10.1152/japplphysiol.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