

WPLYW EKSPOZYCJI HIPERBARYCZNEJ NA UKŁAD SERCOWO - NACZYNIOWY. ROLA AUTONOMICZNEGO UKŁADU NERWOWEGO

Sławomir Kujawski¹⁾, Joanna Słomko¹⁾, Monika Zawadka-Kunikowska¹⁾, Mariusz Kozakiewicz²⁾,
Jacek J. Klawe¹⁾, Małgorzata Tafil-Klawe³⁾, Paweł Zalewski¹⁾

¹⁾ Katedra Higieny, Epidemiologii i Ergonomii, Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy

²⁾ Katedra i Zakład Chemii Środków Spożywczych, Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

³⁾ Katedra Fizjologii, Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

STRESZCZENIE

Wstęp

Wśród doświadczonych nurków obserwuje się adaptację na nurkowanie w formie zmodyfikowanego wzoru zmian fizjologicznych na podejmowanie tej czynności. Przejawia się to między innymi w zmianie odpowiedzi czynności układu sercowo-naczyniowego, dlatego warto ocenić rolę autonomicznego układu nerwowego w modulacji reakcji układu sercowo-naczyniowego po ekspozycji na hiperbarię.

Materiał i metody

W badaniu udział wzięło dziesięciu doświadczonych w nurkowaniu mężczyzn. Zmierzono efekty ekspozycji na hiperbarię na 30 i 60 metrów oraz interakcji głębokość x czas. Zmiany wartości HR, RRI, CI, LF i HF HRV zostały wzięte pod uwagę.

Wyniki

Ekspozycja na hiperbarię na 30 metrów znacząco wpłynęła na podwyższenie się wartości HFnu-RRI i obniżenie się wartości LFnu-RRI ($F = 42.92$, $p < 0.00001$), bez znaczącego wpływu na wartości HR, RRI i CI. Ekspozycja na hiperbarię na 60 metrów wpłynęła wzrost HR i CI (odpowiednio ($F = 7.64$, $p = 0.01$ oraz ($F = 4.89$, $p = 0.04$) oraz obniżenie się wartości RRI ($F = 7.69$, $p = 0.01$), bez istotnego wpływu na pozostałe zmienne. Wpływ interakcji czynników głębokość x czas był istotny we wszystkich mierzonych zmiennych.

Wnioski

Wyniki wskazują, że ekspozycja na hiperbarię na 60 metrów wpłynęła na zmianę takich parametrów jak HR, RRI, CI, na które ekspozycja na hiperbarię na 30 metrów nie miała istotnego wpływu. Natomiast, ekspozycja na 30 metrów wykazała istotny wpływ na LF i HF HRV, na które ekspozycja na 60 metrów nie miała istotnego wpływu. Uzyskano istotny efekt interakcji czasu i głębokości w każdej z analizowanych zmiennych.

Słowa kluczowe: autonomiczny układ nerwowy, komora hiperbaryczna, nurkowanie.

ARTICLE INFO

PolHypRes 2017 Vol. 61 Issue 4 pp. 33 - 42

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.1515/phr-2017-0020

Strony: 10, rysunki: 5, tabele: 3

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

Typ artykułu: oryginalny

Termin nadestania: 13.12.2016r.

Termin zatwierdzenia do druku: 03.04.2017r.

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society



WSTĘP

W zdrowym organizmie układy fizjologiczne dostosowują swoją aktywność wobec zmian zachodzących w środowisku zewnętrznym. Systematyczne podejmowanie danej czynności może doprowadzić do zmodyfikowania odpowiedzi układów fizjologicznych podczas wykonywania tejże aktywności. Na przykład, Hong i inni [1] opisali, że częstość akcji serca (*heart rate* - HR) u nurkujących kobiet z Korei zwanych „*haenyeo*” obniżyła się ze 101 (wartość spoczynkowa) do 60 uderzeń na minutę (40 sekund po zanurzeniu).

Co ciekawe, badanie z 2015 roku [2] odnotowało, że wartość HR w trakcie nurkowania była niższa u starszych w porównaniu do młodych kobiet. Tym niemniej, odnotowano około 20 % obniżenie się HR u całej grupy badanych podczas nurkowania ze wstrzymanym oddechem w morzu [2].

Zaobserwowane zmiany w wartości HR może odpowiadać kilka różnych reakcji, intensywny skurcz obwodowych i trzewnych łożysk włosniczkowych oraz redukcja stopnia konsumpcji tlenu prowadzi do oszczędzania tlenu dla organów priorytetowych, takich jak mózg czy serce [3]. Osoby, które miały doświadczenie 7-10 letnie w nurkowaniu, podczas wstrzymania oddechu charakteryzowały się obniżonym poziomem zakwaszenia krwi i stresu oksydacyjnego w odpowiedzi na nurkowanie [4]. Wyniki badań na grupie 30 zdrowych mężczyzn pokazały, że do znaczących zmian wartości HR nie dochodzi podczas samego wstrzymania oddechu w normalnych warunkach [5].

Istotne obniżenie wartości HR doszło w warunkach, kiedy zasymulowano nurkowanie poprzez zanurzenie w zimnej wodzie podczas wstrzymania oddechu: w pierwszych 15 sekundach wartość HR obniżyła się z 108.97 do 81.77, w kolejnych 15 sekundach wartość ta jeszcze bardziej się obniżyła [5]. Co więcej, wyniki badań, w których zastosowano podobną metodę symulacji nurkowania poprzez zanurzenie w zimnej wodzie [6] wykazały początkowy wzrost HR podczas ekspozycji. Reakcja na nurkowanie nie będzie taka sama, kiedy nie dojdzie do wstrzymania oddechu podczas tej czynności [7].

Wyniki badań 25 nurków podczas nurkowania pokazują interesującą reakcję ze strony czynności autonomicznego układu nerwowego (AUN) na nurkowanie i zanurzanie [8]. Z jednej strony nurkowanie zaktivowało zarówno komponent współczulny jak i przywspółczulny, z drugiej strony zanotowano wzrost wszystkich badanych parametrów określających zmienność zatokowego rytmu serca (*Heart Rate Variability* - HRV).

W związku z powyższym, warto zbadać odruch na nurkowanie (*diving reflex*) analizując reakcję autonomicznego układu nerwowego i układu sercowo-naczyniowego podczas ekspozycji na hiperbarię, w trakcie której uczestnicy będą mogli swobodnie oddychać. Na podstawie literatury zakładamy, że reakcja AUN i sercowo-naczyniowego układu będą odpowiadać w podobny sposób jak przy standardowym nurkowaniu w zimnym akwenu, mimo że ekspozycja w naszym badaniu będzie charakteryzowała się jedynie ekspozycją w komorze hiperbarycznej, w której panujący stopień kompresji odpowiadać będzie ciśnieniu na odpowiednich głębokościach podczas nurkowania w akwenu wodnym.

MATERIAŁ I METODY

W badaniu udział wzięło dziesięciu mężczyzn, doświadczonych w nurkowaniu (zakres stażu 2-12 lat). Dane antropometryczne dotyczące uczestników badania przedstawione są w tabeli nr 1. Badani dwukrotnie zostali eksponowani w komorze hiperbarycznej. Pierwsza ekspozycja trwała od godziny 12 do 13. Ochotnicy zostali umieszczeni w komorze hiperbarycznej i sprężeni do ciśnienia 400 kPa. Plateau ekspozycji wynosiło ok. 30 minut po czym nastąpiła stopniowa dekompresja, po ekspozycji na 400 kPa (0,4 M Pa - 0,3 M Pa + 0,1 M Pa ciśnienie atmosferyczne), stosowano dekompresję jak po nurkowaniu na głębokości 33 metrów, co równe jest ciśnieniu 440 kPa. W komorze hiperbarycznej w trakcie interwencji jako mieszaninę oddechową wykorzystano powietrze [7].

W trakcie drugiej ekspozycji na głębokość 60 metrów, całość trwała od 13.30 do 18.30, czas dekompresji wynosił 4 godziny.

Do analizy czynności AUN użyto systemu Task Force Monitor. Służy do nieinwazyjnych badań układu krążenia oraz czynnościowej oceny AUN. System składa się z następujących podjednostek: urządzenie do ciągłego pomiaru ciśnienia krwi, elektrokardiograf (EKG), kardiograf impedancyjny (IKG), urządzenie do oscylometrycznego pomiaru ciśnienia oraz pulsoksymetr.

Zastosowana metoda opisana jest szerzej gdzie indziej [8]. Uczestnicy byli badani czterokrotnie podczas jednego dnia: natychmiastowo przed i po ekspozycji na hiperbarię na 30 metrów oraz przed i po ekspozycji na 60 metrów. Wartości następujących wskaźników zostały wzięte pod uwagę w trakcie analizy statystycznej: HR, RRI (różnic odstępów RR (RR Interval - RRI), wskaźnik sercowy, (Cardiac Index - CI) wyznaczany jest przez stosunek rzutu serca do powierzchni ciała.

Pod uwagę wzięto również wartości przedstawiające wyniki analizy spektralnej HRV: niską częstotliwość (*low frequency* - LF) i wysoką częstotliwość (*high frequency* - HF) gęstości widma mocy. Składowa LF (0.04-0.15 Hz) i HF (0.150.4 Hz) były przedstawiane w jednostkach znormalizowanych (LFnu RRI, HFnu RRI) dla HRV.

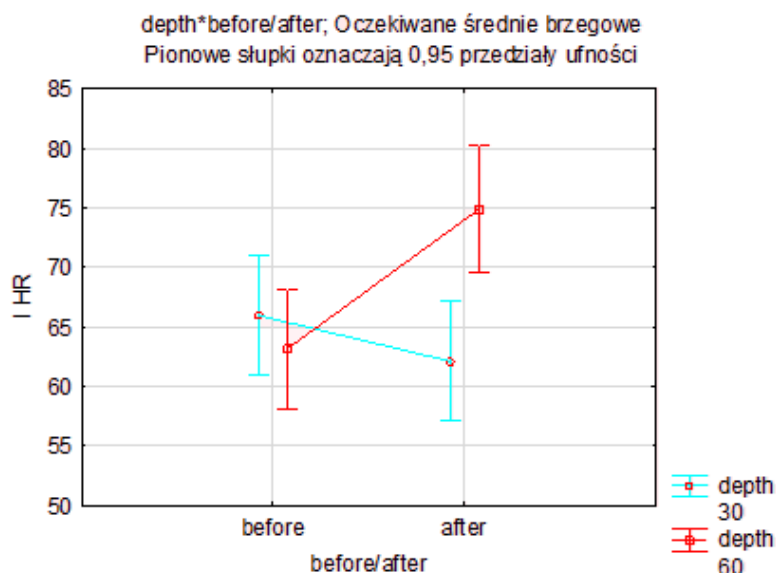
Dane antropometryczne uczestników badania.

i.d.	wiek	wysokość ciała	masa ciała	BMI	staż nurkowy
DIVE_001	29	190	92	25	4
DIVE_002	29	180	72	22	9
DIVE_003	31	178	75	24	2
DIVE_004	22	168	76	27	4
DIVE_005	33	191	94	26	8
DIVE_006	20	193	96	26	2
DIVE_007	37	183	80	24	12
DIVE_008	32	174	86	28	4
DIVE_009	25	176	86	28	5
DIVE_010	36	172	80	27	11
Średnia	29	2	84	26	6

Do analizy danych użyto pakietu statystycznego STATISTICA 13.1 (StatSoft, Tulsa, OK). Test Shapiro-Wilka został użyty do analizy normalności rozkładu wartości analizowanych zmiennych. Test Levene'a posłużył do oceny jednorodności wariancji. Do analizy efektu czasu przy ekspozycji hiperbarycznej na 30 i 60 metrów użyto jednoczynnikowego testu ANOVA, zaś efekt interakcji (głębokość x czas) analizowano za pomocą dwuczynnikowego testu ANOVA.

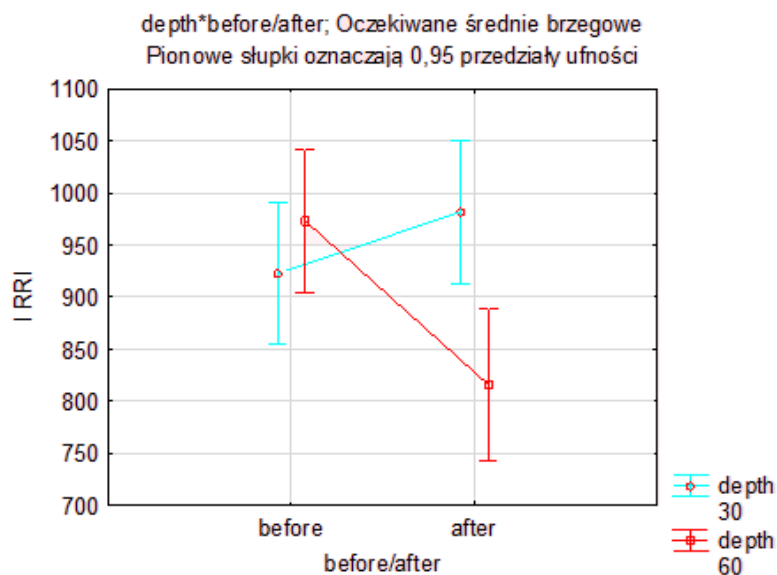
WYNIKI

Analiza wyników wykazała, że wartość HR miała tendencję do nieznacznego spadku po ekspozycji na hiperbarię na głębokość 30 metrów, jednak tendencja ta nie była istotna statystycznie ($p > 0.05$). Natomiast efekt ekspozycji na 60 metrów wywołał odwrotne zmiany, zaobserwowany wzrost HR był istotny statystycznie ($F = 7,64$, $p = 0.01$). Interakcja czynników głębokość x czas, którą przedstawia rysunek nr 1, również okazała się istotna statystycznie ($F = 9.71$, $p = 0.004$).



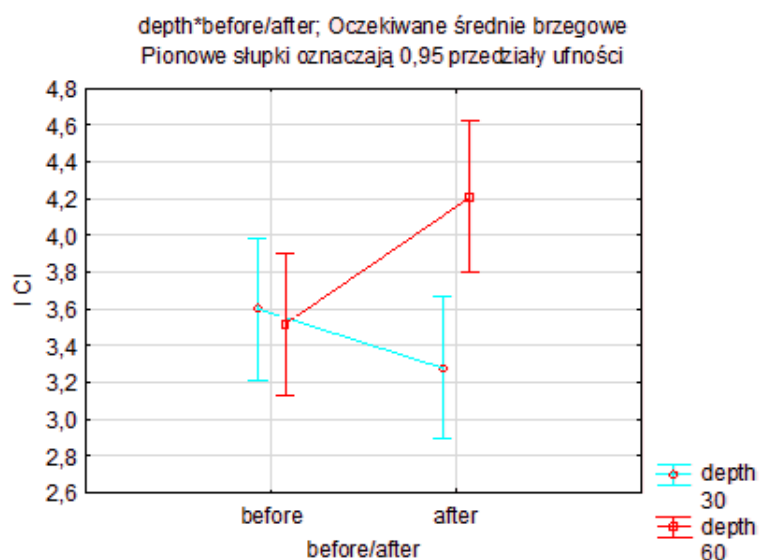
Rys. 1 Wpływ interakcji czynników głębokość x czas na wartość HR.

Nie zaobserwowano istotnych zmian RRI w odpowiedzi na ekspozycję na hiperbarię na głębokość 30 metrów ($p > 0.05$). Natomiast w przypadku ekspozycji na 60 metrów zaobserwowano istotny statystycznie wpływ ekspozycji na RRI o odwrotnym kierunku niż miało to miejsce przy ekspozycji na 30 metrów ($F = 7.69$, $p = 0.01$). W przypadku wartości RRI, interakcja czynników głębokość x czas okazała się istotna ($F = 10.07$, $p = 0.003$) (rysunek nr 2).



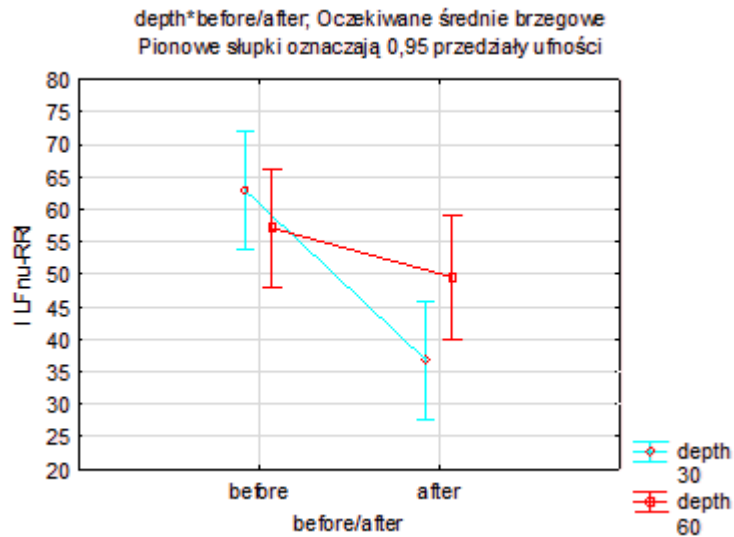
Rys. 2 Wpływ interakcji czynników głębokość x czas na wartość RRI.

Nie zaobserwowano istotnych zmian CI w odpowiedzi na ekspozycję na hiperbarię na głębokość 30 metrów ($p > 0.05$). Natomiast zaobserwowano istotny wzrost wartości CI po ekspozycji na 60 metrów ($F = 4.89$, $p = 0.04$). Dwuczynnikowa ANOVA wykazała istotną interakcję ($F = 6.9$, $p = 0.01$) (rysunek nr 3).



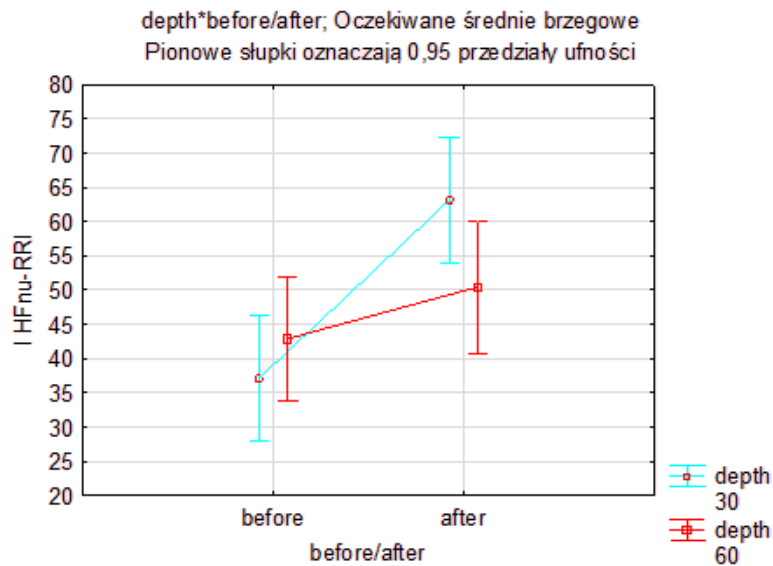
Rys. 3 Wpływ interakcji czynników głębokość x czas na wartość CI.

Zmiany wartości LFnu-RRI przedstawia wykres nr 4. Wartość ta obniżyła się zarówno po ekspozycji na 30 jak i na 60 metrów; przy czym zmiana tej wartości po ekspozycji na 30 metrów była istotna statystycznie ($F = 42.92$, $p < 0.00001$). Po ekspozycji na 60 metrów zmiana ta nie osiągnęła istotności statystycznej ($p > 0.05$). Wpływ interakcji dwóch czynników (głębokość x czas) na LFnu-RRI okazał się być istotny statystycznie: ($F = 4.17$ $p < 0.05$).



Rys. 4 Wpływ interakcji czynników głębokość x czas na LFnu-RRI.

Wartość HFnu-RRI wzrosła zarówno po ekspozycji na 30 jak i na 60 metrów; przy czym zmiana tej wartości po ekspozycji na 30 metrów była istotna statystycznie ($F = 42.92$, $p < 0.00001$). Zmiana wartości HFnu-RRI po ekspozycji na 60 metrów nie osiągnęła istotności statystycznej ($p > 0.05$). Dwuczynnikowa ANOVA wykazała istotną interakcję: ($F = 4.17$ $p < 0.05$) (rysunek nr. 5).



Rys. 5 Wpływ interakcji czynników głębokość x czas na HFnu-RRI.

Dynamika zmian wartości średnich przed i po ekspozycji na głębokość 30 i 60 metrów przedstawione są odpowiednio w tabeli nr 2 i 3. Zmienne, w których zaobserwowano istotne statystycznie różnice zaznaczone są gwiazdką (*).

Tab. 2

Różnice w wartościach średnich mierzonych zmiennych przed i po ekspozycji na 30 metrów.

Zmienna	Średnia przed	Średnia po
I HR	65,96	62,10
I RRI	922,60	981,84
I CI	3,60	3,28
I LFnu-RRI *	76,26	73,53
I HFnu-RRI *	23,74	26,47

Różnice w wartościach średnich mierzonych zmiennych przed i po ekspozycji na 60 metrów.

Zmienna	Średnia przed	Średnia po
I HR *	63,165	74,897
I RRI *	973,323	816,062
I CI *	3,519	4,210
I LFnU-RRI	57,107	48,717
I HFnu-RRI	42,893	51,283

DYSKUSJA

Po ekspozycji na hiperbarię na głębokość 30 metrów zaobserwowano nieistotną tendencję do zmniejszenia się wartości HR i CI, przy jednoczesnym wzroście RRI. Co ciekawe, w przypadku ekspozycji na hiperbarię na głębokość 60 metrów zaobserwowano istotny wpływ interwencji, przy czym kierunek zmian był odwrotny niż w przypadku ekspozycji na 30 metrów: wartości HR i CI wzrosły, natomiast w przypadku RRI zanotowano spadek. Sugerowanie się tymi trzema parametrami mogłoby doprowadzić do wniosku, że pod wpływem ekspozycji na hiperbarię na głębokość 30 metrów zaktwowany został przywspółczulny komponent AUN.

Potwierdzałyby to znaczące obniżenie się komponentu niskiej częstotliwości RRI (LFnu-RRI) przy jednoczesnym podwyższeniu się HFnu-RRI. Wartość HFnu-RRI może odwzorowywać natężenie eferentnej aktywności nerwu błędnego [9], zatem wzór wszystkich zaobserwowanych zmian wskazywałby na wzmocniony komponent przywspółczulny pod wpływem ekspozycji na 30 metrów. W przypadku ekspozycji na 60 metrów, zaobserwowano istotne zmiany w parametrach HR, RRI i CI, przy czym warto zauważyć że kierunek tych zmian był odwrotny niż w przypadku ekspozycji na 30 metrów. Natomiast parametry dotyczące niskiej i wysokiej częstotliwości zatokowego rytmu serca miały tendencję do zmiany w ten sam sposób, co w przypadku ekspozycji na 30 metrów, efekt ten jednak nie był istotny statystycznie.

Jednoznacznie na podstawie uzyskanych danych trudno stwierdzić który komponent AUN był bardziej aktywny po ekspozycji na hiperbarię na 60 metrów, możliwym jest że wzrosła aktywność obydwu komponentów, jak to miało miejsce w przypadku innych badań [8].

Jednoznacznie na podstawie uzyskanych danych trudno stwierdzić który komponent AUN był bardziej aktywny po ekspozycji na hiperbarię na 60 metrów, możliwym jest że wzrosła aktywność obydwu komponentów, jak to miało miejsce w przypadku innych badań [10]. Większy stopień hiperbarii może skutkować silnym powrotem żylnym, co z kolei może spowodować aktywację przedsionkowych mechanoreceptorów typu B (atrial B-type stretch receptors), które odruchowo aktywują układ współczulny u przywspółczulny. Silny powrót żylny prowadzi do zwiększonego rozciągnięcia przedsionków i aktywacji odruchu Bainbridge'a wywołującego tachykardię.

Co więcej, w niniejszym badaniu nie uwzględniono wartości parametrów biochemicznych, które również mogły mieć istotny wpływ na modulację parametrów układu sercowo-naczyniowego, zwłaszcza że ekspozycja na hiperbarię na 60 metrów trwała łącznie 4 godziny. Ponadto, ograniczeniem niniejszego badania mógłby być fakt, że na podstawie uzyskanych danych nie można określić zmian w czynnościach AUN podczas ekspozycji na hiperbarię, jedynie ich stan zaraz przed i po ekspozycji.

WNIOSKI

Ekspozycja na hiperbarię na głębokość 30 metrów spowodowała zwiększenie dosercowej aktywności układu przywspółczulnego. Ekspozycja na hiperbarię na głębokość 60 metrów równocześnie zmieniła dosercową aktywność współpoczną i przywspółczulną. Taka reakcja AUN wpłynęła na funkcje układu sercowo-naczyniowego aktywując receptory odruchu Bainbridge'a.

BIBLIOGRAFIA

- Hong SK, Song SH, Kim PK, Suh CS. Seasonal observations on the cardiac rhythm during diving in the Korean ama. *J Appl Physiol.* 1967 Jul;23(1):18-22;
- Lee JY, Lee HH, Kim S, Jang YJ, Baek YJ, Kang KY. Diving bradycardia of elderly Korean women divers in cold seawater: a field report. *Ind Health.* 2016;54(2):183-90. doi: 10.2486/indhealth.2015-0043. Epub 2015 Dec 1;
- Elsner R, Gooden B. Diving and asphyxia. A comparative study of animals and man. *Monogr Physiol Soc.* 1983;40:1-168;
- Joula F, Steinberg JG, Wolff F, Gavarry O, Jammes Y. Reduced oxidative stress and blood lactic acidosis in trained breath-hold human divers. *Respir Physiol Neurobiol.* 2002 Oct 23;133(1-2):121-30;
- Rajdeep PL, Patel RK, Patel D. Heart rate change of healthy volunteers in a simulated dive experiment. *Int J Med Sci Public Health.* 2014 18, 0-57;
- Smolinska M, Malinowski K, Zajackowski S, Wierzbna TH. Multiple baseline approach to predict the heart rate response to simulated diving in young adults. In *Cardiovascular Oscillations (ESGCO), 2014 May 8th Conference of the European Study Group on, 217-218. IEEE;*
- Andersson J, Schagatay E, Gislén A, Holm B. Cardiovascular responses to cold-water immersions of the forearm and face, and their relationship to apnoea. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Dec;83(6):566-72. DOI:10.1007/s004210000317;
- Zalewski P, Słomiński K., Klawe J, Tafił-Klawe M. Functional assessment of the autonomous nervous system with the use of Task Force Monitor. *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna.* 2008 14(3),228-234;
- Lombardi F, Malliani A, Pagani M, Cerutti S. Heart rate variability and its sympatho-vagal modulation. *Cardiovasc Res.* 1996 Aug;32(2):208-16.
- Schipke JD, Pelzer M.. Effect of immersion, submersion, and scuba diving on heart rate variability. *Br J Sports Med.* 2001 Jun;35(3):174-80;

dr hab. n. o zdr. dr n. med. Paweł Zalewski
Katedra Higieny, Epidemiologii i Ergonomii,
Wydział Nauk o Zdrowiu, Collegium Medicum UMK w Bydgoszczy
ul. M. Curie Skłodowskiej 9
85-094 Bydgoszcz
p.zalewski@cm.umk.pl