

WPLYW HIPERBARII NA POBUDLIWOŚĆ ELEKTRYCZNĄ NARZĄDU PRZEDSIONKOWEGO U KRÓLIKÓW

Augustyn Dolatkowski¹⁾, Aleksandra Mitrinowicz-Modrzejewska²⁾, Stanisław Klajman¹⁾, Kazimierz Dęga¹⁾, Janusz Torbus³⁾

¹⁾ Katedra Medycyny Morskiej Wojskowej Akademii Medycznej w Gdyni

²⁾ Oddział Foniatrii Kliniki Otolaryngologii Akademii Medycznej w Warszawie

³⁾ Zakład Sprzętu Nurkowego i Technologii Prac Podwodnych Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, z Oddziału Foniatrycznego Kliniki Otolaryngologicznej AM w Warszawie

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono badania wpływu hiperbarii podczas pozorowanych ekspozycji powietrznych na modelu zwierzęcym na narząd przedsionkowy. Prawidłowe działanie narządu przedsionkowego warunkuje bezpieczeństwo nurkowania ze względu na ograniczoną rolę narządu wzroku pod wodą, szczególnie w naszych szerokościach geograficznych.

Badania przeprowadzono na 16 królikach poprzez rejestrację ruchów głowy zwierzęcia generowanych „próbą galwaniczną”. Badania wykonywano podczas kompresji w nadciśnieniu 1, 2, 3, 4, 5 i 6 atm. A następnie podczas dekompresji przy tych samych wartościach nadciśnienia. Stwierdzono spadek wrażliwości układu przedsionkowego na bodźce w miarę wzrostu ciśnienia.

Słowa kluczowe: hiperbaria, narząd przedsionkowy, królik.

ARTICLE INFO

PoIHypRes 2023 Vol. 85 Issue 4 pp. 55 – 62

ISSN: 1734-7009 eISSN: 2084-0535

DOI: 10.2478/phr-2022-0021

strony: 8, rysunki: 1, tabele: 1

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

Publisher

Polish Hyperbaric Medicine and Technology Society

Typ artykułu: oryginalny

Opublikowano w Biuletynie Wojskowej Akademii Medycznej w 1967 r.

Termin zatwierdzenia do druku w PHR:
12.07.2023 r.



WSTĘP

Narząd przedsionkowy ma dla nurka znajdującego się w atmosferze sprężonego powietrza pod wodą większe jeszcze znaczenie aniżeli dla człowieka przebywającego w warunkach normalnych na lądzie. Warunki pracy pod wodą zmniejszają zakres czynności niektórych zmysłów człowieka. Ograniczeniu ulega tu zwłaszcza czynność analizatora wzrokowego ze względu na złe warunki świetlne występujące już na stosunkowo niewielkich głębokościach a pogarszające się w miarę dalszego zanurzenia. Zawężenie zakresu dostarczanych przez analizator wzrokowy informacji o lokalizacji przestrzennej człowieka obarcza przede wszystkim narząd przedsionkowy odpowiedzialnością za orientację przestrzenną nurka. Sytuację pogarsza fakt zmiany ułożenia ciała podczas ruchu, gdyż nurek swobodny porusza się zazwyczaj w kierunku osi długiej ciała a nie jak w warunkach lądowych prostopadle do niej. Powoduje to dodatkowe trudności w lokalizacji przestrzennej nurka pod wodą. Na większych głębokościach, na których panuje całkowita ciemność lub też w nocy nurek pozbawiony odpowiednich przyrządów łatwo może stracić orientację i zamiast płynąć ku powierzchni zanurzy się coraz głębiej. Narkotyzujące działanie sprężonych gazów oddechowych na nurka występujące już od głębokości 30 m utrudnia krytyczną ocenę informacji dostarczanych nurkującemu przez jego narządy zmysłów [1,2,3,4,5 i in.]. W następstwie tego łatwo można dojść do wypadku lub nawet śmierci nurka. W związku z tym sprawność narządu przedsionkowego ma dla niego duże znaczenie praktyczne. W dostępnym nam piśmiennictwie nie spotkaliśmy opracowania tego zagadnienia.

CEL PRACY

Celem niniejszej pracy jest zbadanie wpływu hiperbarii powietrznej na pobudliwość elektryczną narządu przedsionkowego zwierząt w doświadczeniu modelowym. Doświadczenie takie stwarza możliwość wykluczenia wpływu innych czynników występujących w środowisku podwodnej pracy nurka jak ciepota wody, brak światła itp.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Badanie przeprowadzono na 16 królikach (8 samicach i 8 samcach), rasy wiedeńskiej, wagi około 2 kg, odżywianych paszą standaryzowaną. Doświadczenia wykonywano w typowej treningowo-leczniczej komorze ciśnieniowej przystosowanej do prowadzenia badań pobudliwości elektrycznej narządu przedsionkowego. Pobudliwość narządu przedsionkowego określono przy pomocy tzw. „próby galwanicznej”. Badanemu królikowi do skóry okolicy wyrostków sutkowych zakładano elektrody w postaci klamerek chirurgicznych z przyłutowanymi przewodami połączonymi ze źródłem prądu umieszczonym poza komorą. Natężenie prądu wskazywał mikroamperomierz z dokładnością do 10 μ A. Miarą pobudzenia narządu przedsionkowego było natężenie prądu powodujące zmianę położenia głowy królika przy zmianie kierunku przepływu prądu. Rejestrację zmiany położenia głowy umożliwiał układ składający się ze źródła światła umieszczonego poza komorą w iluminatorze, fotodiody umocowanej na głowie zwierzęcia połączonej z umieszczonym poza komorą wzmacniaczem (typ 2604 firmy Brüel-Kjaer). Ruchy głowy królika powodowały zmianę SEM w zestrojonym układzie: źródło światła – fotodioda. Zmiana ta była zapisana po odpowiednim wzmocnieniu na połączonym ze wzmacniaczem rejestratorze (2305 firmy Brüel-Kjaer). Rejestrowano ruchy wymuszone podczas włączenia prądu, tym samym eliminując przypadkowe ruchy głowy królika. Dodatkowo obserwowano reakcję zwierzęcia przez iluminator komory.

Królika umieszczono w klatce unieruchamiającej go w komorze ciśnieniowej ustawiając pod jednym z jej iluminatorów. W warunkach normalnego ciśnienia zestrano układ rejestrujący i oznaczano wartość prądu koniecznego dla wywołania skłonu głowy królika przy zmianie kierunku przepływu prądu tzn. przeprowadzono typową próbę galwaniczną z obserwacją drugiego odruchu błędnikowego [wg. 6,7] Odruch pierwszy (zbaczenia gałek ocznych) i trzeci (oczopląsu) w warunkach naszego doświadczenia nie mógł być rejestrowany. Oznaczenia te powtarzano co najmniej 3-krotnie i ustalano wartość średnią wielkości natężenia prądu. Następnie przy panującym w komorze ciśnieniu 1 atn. (atn – atmosfer powyżej ciśnienia atmosferycznego), 2 atn., 3 atn., 4 atn., 5 atn., i 6 atn. Wykonywano takie same oznaczenia jak przy ciśnieniu normalnym. Czas wykonywania badań w komorze wynosił od 30 minut do 3 godz. Przy dekompresji wykonywanej zgodnie z tabelami Haldane'a powtarzano wszystkie pomiary na odpowiednich poziomach ciśnienia w komorze tj. 5, 4, 3, 2, 1 atn. I ciśnieniu normalnym.

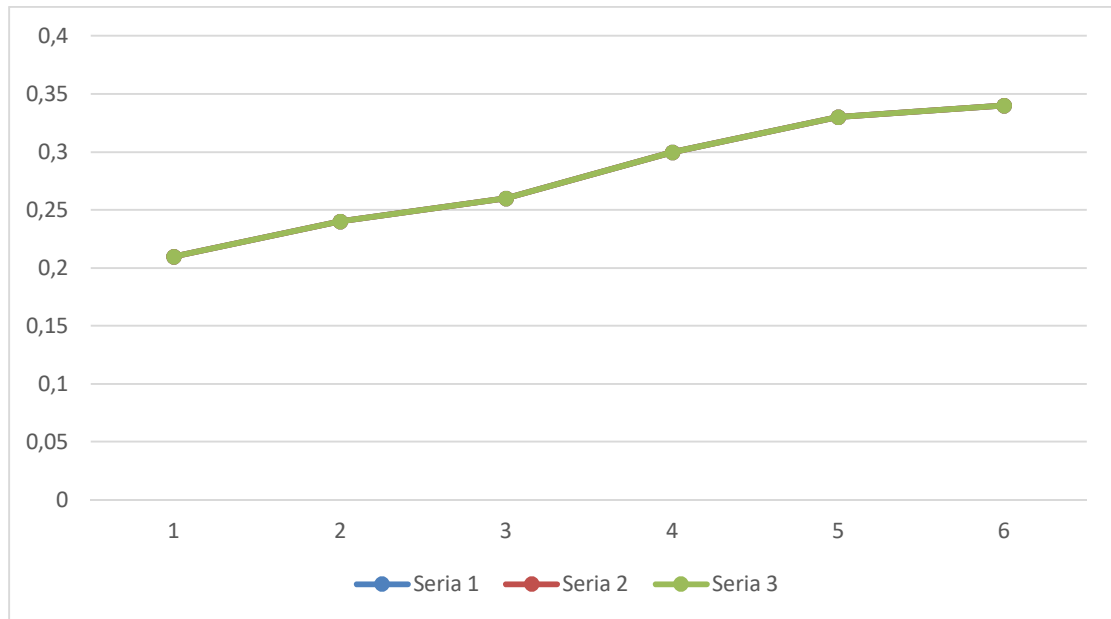
Temperatura powietrza w komorze ciśnieniowej wynosiła około 19°C z niewielkimi wahaniami do $\pm 1,5^\circ\text{C}$. Poziom CO_2 nie uległ wahaniom ponieważ prowadzono badania w normalnej komorze ciśnieniowej o dużej objętości przeznaczonej dla ludzi i stosowano wentylację zgodnie z przepisami określającymi jej wartości dla ekspozycji z udziałem ludzi.

WYNIKI

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1. Są to średnie ze średnich uzyskanych w badaniach 16 królików.

Na rys.1 przedstawiono graficznie zależność natężenia prądu koniecznego dla pobudzenia narządu przedsionkowego u królików od ciśnienia powietrza w komorze ciśnieniowej.

Przy pomocy testu Studenta „t” porównano ze sobą wyniki uzyskane przy poszczególnych ciśnieniach w komorze. Stwierdzono, że różnice statystyczne znamienne ($p < 0,05$) wystąpiły pomiędzy wartościami uzyskanymi w ciśnieniu normalnym i 1 atn. a 2 atn. i wyższymi, przy czym wartości uzyskane przy ciśnieniu 5 i 6 atn. różniły się od wartości wyjściowych bardzo znacznie ($p < 0,01$). Następnie w oparciu o obliczenie współczynnika korelacji (test Pearsona) stwierdzono, że istnieje pewna zależność między wartością ciśnienia powietrza w komorze a wzrostem natężenia prądu koniecznego do pobudzenia narządu przedsionkowego w hiperbarii. Sprawdzono wg wzoru Fischera, że obliczony współczynnik korelacji jest istotny statystycznie ($p < 0,01$).



Rys. 1. Zależność pobudliwości narządu przedsionkowego u królików od ciśnienia powietrza w komorze ciśnieniowej.

Tab. 1

| Natężenie prądu konieczne dla pobudzenia narządu przedsionkowego u królików w hiperbarii (średnie ze średnich). | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| Ciś. w atn. | 0. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Natężenie prądu w mA | 0,2 | 0,21 | 0,24 | 0,26 | 0,3 | 0,33 | 0,34 |
| δ | 0,04 | 0,026 | 0,049 | 0,06 | 0,048 | 0,045 | 0,049 |

Podczas dekompresji uzyskano wyniki podobne, jedynie w odwrotnej kolejności, przy czym powrót do wyniku wyjściowego był uzależniony od czasu przebywania królika w hiperbarii. Należy zaznaczyć, że zmiany w pobudliwości elektrycznej narządu przedsionkowego ujawniły się dopiero po co najmniej 10-20 minutowym okresie przebywania w komorze pod zwiększonym ciśnieniem powietrza. Uwzględniono to przy naszych badaniach począwszy od ciśnienia 1 atn.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Badania doświadczalne nad wpływem hiperbarii na pobudliwość narządu przedsionkowego przeprowadzono z 16 królikami umieszczonymi w komorze ciśnieniowej typu treningowo-leczniczego, a więc w warunkach odpowiadających warunkom normalnego treningu nurkowego ludzi. Pobudliwość narządu przedsionkowego królików określono przy pomocy tzw. "próby galwanicznej". Wybór próby galwanicznej dla określenia pobudliwości narządu przedsionkowego u zwierząt doświadczalnych w hiperbarii był uwarunkowany przede wszystkim specyfiką prowadzonego doświadczenia w hiperbarii i możliwością bardzo ścisłego oznaczenia wielkości stosownego bodźca, który mimo zmian ciśnienia powietrza nie ulegał zmianom w próbie. Zapewniła ona też dobrą powtarzalność w krótkich odstępach czasu, konieczną w tego rodzaju badaniach.

Purkinje (1820) pierwszy zwrócił uwagę na reakcję błędnikową na bodziec galwaniczny przyłożony do głowy [8]. Jednak jeszcze do chwili obecnej istnieje szereg spornych poglądów co do miejsca zadziaływania bodźca galwanicznego. Niektórzy autorzy sugerują, że pobudzenie ma miejsce już w elementach zmysłowych błędnika. Jednakże po usunięciu błędnika obserwuje się również występowanie oczopląsu po pobudzeniu galwanicznym nerwu przedsionkowego. Dohlman [9] stwierdził typową reakcję po bezpośrednim drażnieniu zwoju przedsionkowego. Huizinga [10] obserwował ją jednak u zwierząt doświadczalnych i po usunięciu tego zwoju przy użyciu silniejszych prądów. Być może, że w tym zwoju bodziec ten ulega wzmocnieniu. Mittermeier [11] powątpiewa czy istnieje możliwość wybiórczego drażnienia jednego błędnika. Sądzi on, że podrażnienie przenosi się również i na stronę przeciwległą. Bos i Jongkees [12] podają różne możliwości położenia elektrod do próby galwanicznej. Za najkorzystniejsze uważają oni założenie ich w okolicę wyrostków sutkowych lub skrawków, ponieważ umożliwia to stosowanie najsłabszych bodźców. Na takie ułożenie elektrod zwrócił już uwagę w 1871 r. Hitzig [13].

Reasumując poglądy tych autorów a także polskich, jak Miodoński [14], Mitrinowicz-Modrzejewska [15], Hurynowicz [6] i in., należy przyjąć, że posługując się próbą galwaniczną z ułożeniem elektrod na okolicę obu wyrostków sutkowych jak w naszym doświadczeniu, uzyskujemy podrażnienie całego układu błędnikowego, a nie tylko samego błędnika. Próba ta nadaje się więc szczególnie do badań narządu przedsionkowego w hiperbarii, ponieważ wyjaśnia nam zachowanie się całego narządu w tych warunkach. Behnke [16], Davis [1], Dolatkowski [2,3], Haldane [4], Huszcza [5] i in.

podają, że sprężone powietrze wywiera od ciśnienia 4-6 atn. działanie narkotyczne na ustrój. Łączą oni to ze specyficznym działaniem azotu na ośrodkowy układ nerwowy oraz zaburzeniami w procesach utleniania komórkowego wywołanych nieprawidłowym poziomem CO₂ i O₂ w tkankach. W ciśnieniach wyższych, przy których ciśnienie parcjale tlenu przekracza poziom 3 atn. dochodzi również do toksycznego oddziaływania tlenu. W naszym doświadczeniu przy stosowaniu ciśnień powietrza do 6 atn. działanie to można wykluczyć. Badania Foulconera i wsp. [17] przeprowadzone w komorze ciśnieniowej nad wpływem podtlenku azotu na obraz EEG, wykazały zmniejszenie się czynności bioelektrycznej mózgu w miarę wzrostu ciśnienia w komorze. Bennet [18] stwierdził osłabienie odpowiedzi bioelektrycznej kory mózgowej na bodziec akustyczny u zwierząt doświadczalnych poddanych w podwyższonym ciśnieniu działaniu mieszanin oddechowych opartych na tlenie i argonie, helu lub azocie.

Dolatkowski i wsp. [3] stwierdzili też wydłużenie czasu reakcji prostej u nurków przebywających w atmosferze sprężonego powietrza. Wyniki badań uzyskane w niniejszej pracy potwierdzają wyżej opisane obserwacje o wpływie hiperbarii na ośrodkowy układ nerwowy. Badania nasze wykazały, że pobudliwość narządu przedsionkowego królików poddanych działaniu sprężonego powietrza w komorze ciśnieniowej obniżała się w miarę wzrostu ciśnienia w sposób statystycznie znamienne. Obniżenie pobudliwości było uzależnione również do przekroczenia pewnego czasu przebywania w tych warunkach. Zestawiając wyniki tych badań z danymi piśmiennictwa wydaje się, że obniżenie pobudliwości narządu przedsionkowego jest uwarunkowane specyficznym wpływem sprężonego powietrza na ośrodkowy układ nerwowy. Na skutek tego działania dochodzić może do osłabienia przewodnictwa nerwowego lub też obniżenia czynności ośrodkowego układu nerwowego, co z kolei wymaga stosowania silniejszego drażnienia receptorów obwodowych dla uzyskania odpowiedzi na podany bodziec. Przemawia za tym również występowanie opisanych zmian w wielkości bodźca elektrycznego wywołującego podrażnienie narządu przedsionkowego dopiero po pewnym czasie, potrzebnym do zadziałania sprężonego powietrza na ośrodkowy układ nerwowy.

Obniżenie pobudliwości tego narządu pod wpływem hiperbarii powietrznej ma duże znaczenie praktyczne dla nurka. Nurka przebywając przez dłuższy okres czasu pod wodą, szczególnie na większych głębokościach, z powodu zmniejszenia pobudliwości narządu przedsionkowego łatwo może utracić orientację przy szybkiej zmianie położenia ciała. Jest to szczególnie niebezpieczne dla nurka klasycznego, gdyż utrata równowagi wielokrotnie już doprowadzała do upadku nurka z miejsca pracy np. z pokładu zatopionego okrętu, lub z krawędzi luku na większą głębokość co doprowadzało do jego zgniecenia. Dlatego przy organizacji prac podwodnych oraz podczas pokonywania przeszkód wodnych należałoby uwzględnić zmniejszoną pobudliwość narządu przedsionkowego. Również do programu treningu nurkowego należałoby wprowadzić ćwiczenia zmysłu równowagi. Mogłoby to korzystnie wpłynąć na zdolność kompensacji przez nurka ujemnego wpływu sprężonego powietrza na narząd przedsionkowy.

WNIOSKI

1. Pobudliwość narządu przedsionkowego na bodziec galwaniczny u królików poddanych działaniu sprężonego powietrza w komorze ciśnieniowej ulega obniżeniu w miarę wzrostu ciśnienia.
2. Wydaje się, że zmiany te powstają w wyniku specyficznego oddziaływania sprężonego powietrza na ośrodkowy układ nerwowy.
3. Obniżenie pobudliwości narządu przedsionkowego pod wpływem sprężonego powietrza może mieć znaczenie przy prowadzeniu prac podwodnych na większych głębokościach. Należy to uwzględnić przy ich planowaniu oraz przy przygotowywaniu nurka do tego rodzaju zadań.

BIBLIOGRAFIA

1. Davis R., Deep diving and submarine operations. London 1951.
2. Dolatkowski A., Zbiór prac. Gdynia 1957.
3. Dolatkowski A., Torbus J., Dęga K., Klajman S., The influence of hyperbaria on the eye-muscle reflex period in divers. Biul. Inst. Med. Mor. W Gdańsku 1966, 3:303.
4. Haldane B. S., Life at high pressures. London 1947.
5. Huszcza A., Ciśnienie atmosferyczne i jego działanie na ustrój. PZWL, Warszawa 1951.
6. Hurynowicz J., The vestibular system of the rabbit in fatigue. Biul. Med. PTPN, Seria C, 3, 12.
7. Miętowski E., Staniszewski L., Badania porównawcze nad chronaksją układu błędnikowego u królików w przebiegu wstrząsów doświadczalnych. Szczecińskie Tow. Nauk. Wyd. Nauk. Lek. T. IV, 3, 1960.
8. Purkinje J. E., cyt. Za Bos J. H., Jongkees L.B.W. (3).
9. Dohlman G., Experimentelle Untersuchungen über die galvanische Vestibularis-reaktion. Acta Otolaryngolog. Stockholm Suppl. VIII (1929).
10. Huizinga E., a) Untersuchungen über die galvanische Reaktion des Vestibularapparates bei der Taube. Pflügers Arch. Ges. Physiol. 1930, 224: 569, b) Über die galvanische Vestibularisreaktion und über die Folgen der Exstirpation des Scarpischen Ganglion bei der Taube. Pflügers Arch, ges Physiol. 1931, 226:709.
11. Mittermaier R., Die experimentellen Gleichgewichtsprüfungen. Hals-Nasen-Ohrenheilk. Berendes J., Link R., Zollner F. Bd. III, T. 1. G. Thieme, Stuttgart 1965.
12. Bos J. H., Jongkees L.B.W., On galvanic stimulation of the labyrinth. Pract. Oto-rhino-laryng. 1963, 5: 345.
13. Hitzig E., Über die beim Galvanisieren des Kopfes entstehenden Störungen. Arch. Du Bois-Raymond 1971.
14. Miodoński J., Odczyn galwaniczny systemu przedsionkowego. Druk. Foltyn, Wadowice 1931.
15. Mitrinowicz-Modrzejewska A., a) Chronaksja narządu przedsionkowego i jej znaczenie w badaniu ucha wewnętrznego. Prace III Otwart. Sem. Z Akustyki 1956, 373. B) L'influence des stimulants acoustiques sur la chronaxie de l'appareil vestibulaire selon la fréquence du stymulant. Att del 1° Congr. Intern. Di medic. Cibernetica Napoli 1960, 32.
16. Behnke A. R., Decompression sickness following exposure to high pressures Philadelphia-London, 1951.
17. Foulconer A., Pender J. W., Bickford R. G., The influence of partial pressure on nitrous oxide on the depth of anesthesia and the eeg. In man. Anesthesiology 1949, 10: 601.
18. Bennet P.B., Cortical CO₂ at high pressures of argon, nitrogen, helium and oxygen. J. Appl. Physiol. 1965, 20: 1249.