

PŘÍSPĚVEK K OTÁZCE HLOUBKOVÉHO POTÁPĚNÍ

MUDr. Vladimír DOLEŽAL, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví, Praha (náčelník plk. MUDr. Miroslav Haňka)

Potápění do velkých hloubek nabývá v poslední době stále více na významu, zejména pro výzkum dna moří a oceánů. Proto se armáda i průmysl snaží o vypracování a vyzkoušení nejefektivnějších metod potápění. Výzkum a pokrok v tomto oboru nebyl po dlouhou dobu veden a koordinován společnou myšlenkou, avšak díky jednotlivcům a malým kolektivům lidí, kteří řešili některé specifické problémy, se postupně dosahovalo úspěchů i v této oblasti lidské činnosti. Tak např. v roce 1908 byl vyvinut dekompresní systém pro potápění se vzduchem, v pozdější době byl zaveden místo dusíku v dýchací směsi vodík a helium. Dále to byl výzkum moří pomocí batysféry a batyskafu, byla vyvinuta metoda potápění bez trvalého přívodu dýchacího média z hladiny pro vojenské účely a potápění bylo zpřístupněno i amatérům potápěčům zavedením otevřeného dýchacího systému. V poslední době se používá malých výzkumných ponorek. Byla vypracována koncepce saturačního potápění a metodika pro dekompresi po saturačním potápění a zavedeny malé přetlakové komory při potápěčských akcích. Výsledky všech těchto výzkumů v teorii a praxi umožnily potápění a výzkum dna moří v hloubkách kolem 200 m.

Dnes tedy máme pro práci v těchto extrémních hloubkách dokonalé technické vybavení, ale je zde ještě řada nesnází: jsou to např. překážky fyzikální povahy, plynoucí z velkého tlaku, studené vody, dále jsou to toxické účinky chemicky aktivních látek vdechovaných při vysokém tlaku a otázky terapie, patologie nehod při potápění apod. Všechny tyto problémy na sebe úzce navazují.

Značného pokroku bylo dosaženo zavedením tzv. saturačního potápění, které spočívá v tom, že potápeč zůstane na dané hloubce tak dlouho, až se jeho tkáň plně saturuje inertním plynem, který potápeč vdechuje. Saturace všech tkání probíhá podle exponenciální křivky a po 24 hodinách jsou všechny tkáň plně saturovány vdechovanou směsí plynů. Po této době již nedochází k dalšímu sycení a potápeč může na dané hloubce setrvat neomezeně dlouhou dobu, aniž se prodlužovala dekomprese.

Omezení doby pobytu v hloubce je způsobeno především narkotickými vlastnostmi inertních plynů, dlouhou dekompresí při návratu na hladinu a nebezpečím plynoucím z dekompresní nemoci.

Uspávací účinek indiferentních plynů při vysokém barometrickém tlaku je způsoben přímým narkotickým vlivem jednotlivých plynů,

jejichž účinek může být zesílen dalšími faktory. Rozdíly v působení narkotického účinku jednotlivých indiferentních plynů byly studovány na různých pokusných zvířatech, avšak výsledky studií týkajících se tolerance nelze jednoznačně aplikovat na člověka. Narkotický účinek inertních plynů lze seřadit podle klesajícího účinku takto: xenon, krypton, argon, dusík, neon, helium. Studie s vodíkem ukázaly, že tento plyn nepůsobí narkoticky ani v hloubkách (při tlacích), ve kterých působí dusík ztrátou vědomí. Velký význam a pokrok v potápění byl zaznamenán zavedením helia místo značně narkotického dusíku. Narkotický účinek inertních plynů se projevuje euforií, ztrátou orientace a úsudku, poruchou svalové koordinace, snížením a poruchou sluchu a konečně ztrátou vědomí. Tyto účinky probíhají podle esovitě křivky. Vztah mezi narkotickým vlivem Xe, N₂ a He je uveden v grafu 1, kde je aproximativní znázornění těchto vztahů. Z grafu vyplývá, že xenon působí ztrátu vědomí již při tlaku 1 ATA, dusík vyvolává stejné příznaky při 10 ATA, helium vyvolává narkotický efekt až při 100 ATA. Účinek He při vysokém tlaku byl studován na pokusných zvířatech, mimo jiné na myších (MacInnis 1967), které byly vystaveny tlaku 120 ATA a dýchaly směs helia s kyslíkem. Ani při dlouhé době expozice tomuto tlaku myši neměly poruchy vědomí. Na základě tohoto pokusu se předpokládá, že ani lidský organismus by nebyl při tomto tlaku helia ovlivněn. Přístupují zde však další vlivy omezující práci ve velkých hloubkách, jako např. retence CO₂, přehřátí, únava CNS a jiné.

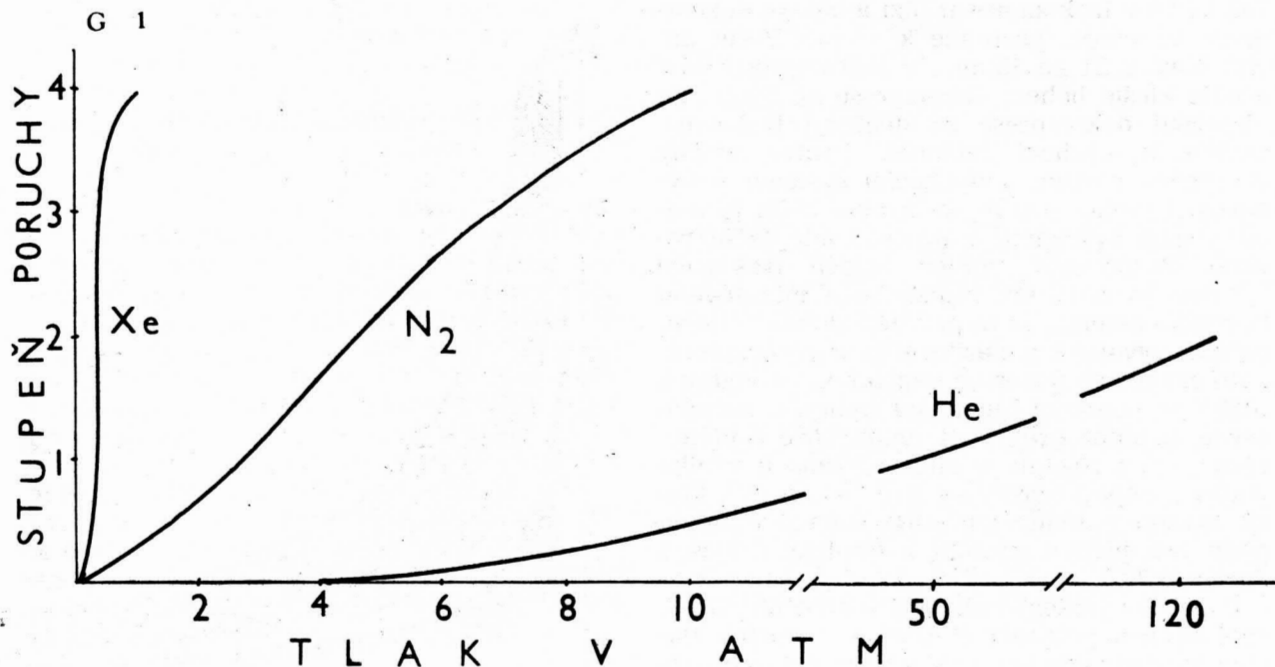
V přetlakové komoře Ústavu leteckého zdravotnictví jsme provedli dva zkušební „sestupy“ do tlaku odpovídající hloubce 90 m, při použití potápěčské helmy. Sestupy provedl zkušební technik potápeč Katz z VZS 040.

Sestup do tlaku 10 ATA byl proveden maximální rychlostí podle barofunkce potápeče s krátkou přestávkou na 5 ATA. Směs helia s kyslíkem se dýchala v 5 ATA 1 minutu a v 10 ATA 3 minuty. Dekomprese se řídila podle dekompresimetru a trvala 70 minut. Od tlaku 3 ATA byl během dekompresce dýchán kyslík pro urychlení desaturace (viz graf 2). Během „sestupu“ i „výstupu“ byl zaznamenáván puls, dech a TK a v 5 a 10 ATA byla registrována srozumitelnost řeči při dýchání směsi helia s kyslíkem na magnetofonové pásce.

Reakce srdečně cévního systému na krátkodobou kompresi vykazovala některé významné změny. Tak diastolický krevní tlak vystoupil

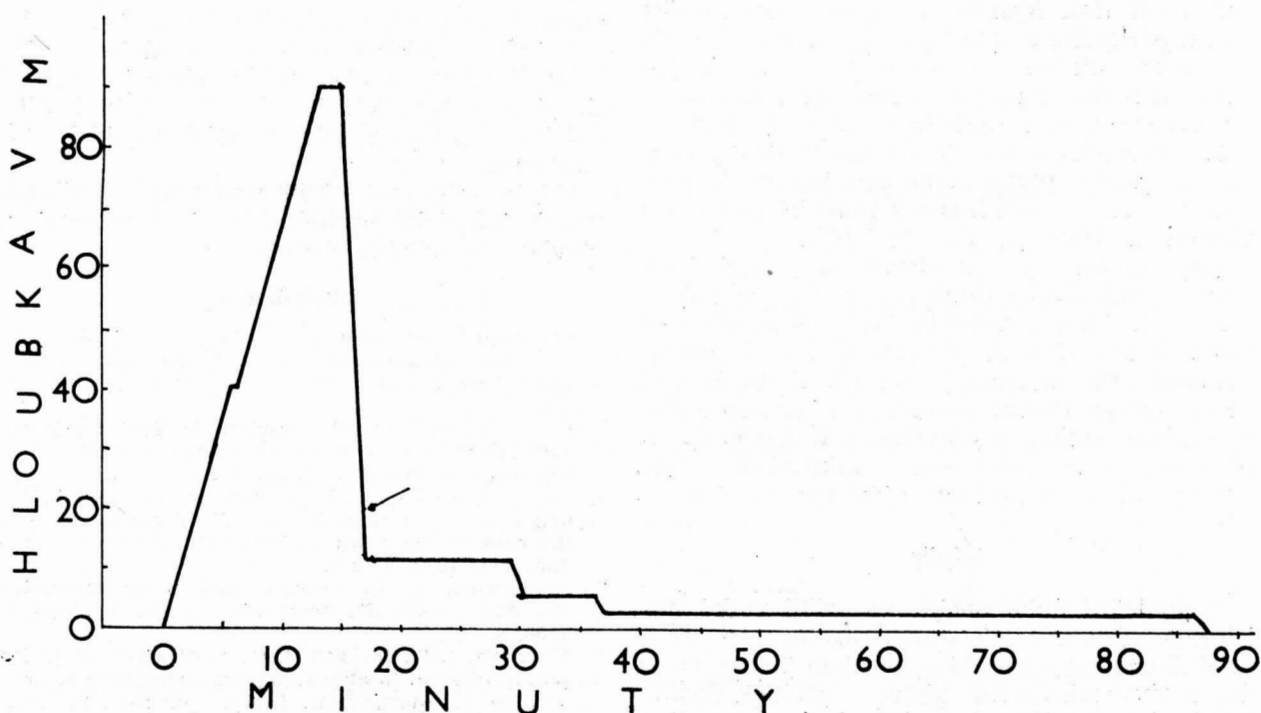
Graf 1

Poruchy vědomí způsobené narkotickým účinkem indierentních plynů. Poruchy narůstají podle esovitě křivky, neodpovídají přesně průběhu ovlivnění výkonnosti člověka. Křivky ukazují jen aproximativní znázornění pravděpodobných vztahů. Stupeň postižení (osa y) je uveden v závislosti na tlaku indierentního plynu (osa x)



Graf 2

„Sestup“ do tlaku odpovídajícího hloubce 90 m (10 ATA) — na ose y, na ose x je čas v minutách. Šipkou od „hloubky“ 20 m v 17. minutě je znázorněn začátek dýchání kyslíku



z kontrolních 95 na 110 v izokompresní fázi v 90 metrech při dýchání helia a kyslíku. Během dekomprese krevní tlak klesl na 135/95 a po skončeném „výstupu“ dosáhl výchozí hodnoty. Tepová frekvence klesala z kontrolních 102 na 78 v izokompresní fázi a během dekomprese se vrátila postupně k normě. Počet dechů klesl z 21 na 15/min. v izokompresní fázi a dále klesal během dekomprese na 9/min. Po ukončení dekomprese se dechová frekvence vrátila k výchozí hodnotě. Rychlé změny v srdečně cévním a dýchacím systému v hyperbarii svědčí pro to, že krevní oběh je nejcitlivějším systémem v procesu adaptační reakce. Pozorovaný pokles tepové frekvence v tlaku je následek redistribuce minutového krevního objemu. Je to pravděpodobně reflexní reakce vyvolaná z periferních baroreceptorů. Tato reakce se pozoruje například i u vodních ptáků po ponoření hlavy pod vodu a u vodních savců, u nichž prokrvení svalů, kůže a některých jiných orgánů je silně sníženo a vzniká jakýsi „preparát srdce — líce — mozek“, který umožňuje těmto zvířatům setrvat dlouhou dobu bez příjmu kyslíku z ovzduší (Jones a Purves 1970).

Úspěšné vyřešení řady fyziologických otázek spojených s pobytem člověka ve velkých tlacích je předpokladem pro práci v těchto hloubkách. Euforický a narkotický účinek dusíku lze úspěšně vyloučit použitím helia. Avšak helium má nepříznivý vliv na srozumitelnost řeči při interkomunikaci; zvyšuje hlas asi o 1/2 oktávy, řeč se stává pisklavou a při delším pobytu ve vysokém tlaku způsobuje helium třes, loupání v kloubech a zvýšená tepelná vodivost helia způsobuje prochlazení potápěče.

Při potápění do velkých hloubek je nutné dodržovat základní podmínky:

1. Dílčí tlak kyslíku ve vdechované směsi nesmí překročit 30 mm Hg (= 0,4 ATA) (graf 3).

2. Dílčí tlak kysličníku uhličitého nesmí přesáhnout hodnoty 0,01–0,5 mm Hg v závislosti na hloubce a délce pobytu v tlaku (graf 3).

3. Specifická váha (absolutní hustota) vdechované směsi plynů nemá přesáhnout dvojnásobek až třínásobek hustoty vzduchu při atmosférickém tlaku (tj. 2,6–3,9 g/L).

Tyto podmínky lze dosáhnout příslušnou směsí kyslíku s inertními plyny (N_2 , He, H_2).

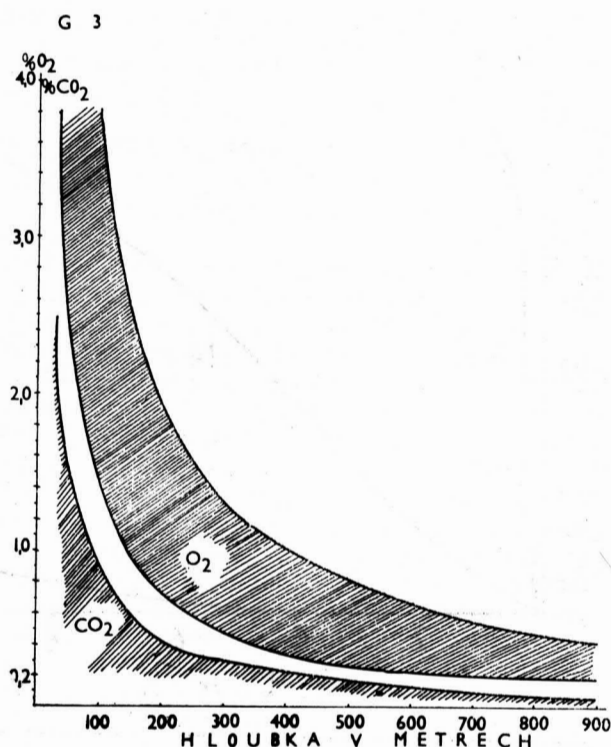
Helio-kyslíkové směsi lze úspěšně použít i do hloubek 400–500 m (Chouteau a spol. 1967). Pokusná zvířata (kozy) žila při tlaku 40–50 ATA po dobu 10 dnů. Autoři na nich nepozorovali žádné změny v chování, rytmu spánku a příjmu potravy. Dílčí tlak kyslíku však musel být udržován na hodnotě nižší než 0,3 ATA.

Závěr

V poslední době nastal ve světě velký pokrok ve výzkumu přírodních zdrojů, a to právě na dně oceánů v hloubkách kolem 200 m. Oceány mohou zásobovat lidstvo v příštích desítkách až 200 miliónů tun ryb ročně ve srovnání

Graf 3

Rozpětí bezpečného dílčího tlaku kyslíku a kysličníku uhličitého (v % — na ose y) v dýchací směsi, v závislosti na hloubce (osa x)



s 45 milióny dnes. Zelená vegetace v mořích může sloužit rovněž jako zdroj pro novou farmakologii a výrobu antibiotik. V mořích je obsaženo asi 60 prvků, z nichž se v současné době využívá jen asi 6 prvků. Na dnech oceánů byla objevena nafta a plyn. Kromě ekonomických zájmů ve výzkumu dna oceánů jsou zde i zájmy vojenské ve spojitosti s obranou, ochranou ponorek a vyzdvížením vraků.

Existence lidstva může proto záviset právě na využití moří a oceánů. I u nás existují malé skupiny odborníků, kteří řeší některé dílčí otázky působení vysokých tlaků na lidský organismus.

V této práci jsme chtěli upozornit na některé patofyziologické problémy spojené s pobytem člověka ve velkých tlacích.

Literatura

1. Chouteau, J., Cousteau, J. Y., Alinat, J., Agiardo, C. F.: Experimentation animale de vie prolongée en oxygen-helium de 41 a 58 Bar. J. Physiol. Paris, 59, 1967, s. 225.
2. Chouteau, J.: Saturation diving. In The Physiology and Medicine of Diving and Compressed Air Work. Ed.: London, Bennet & Elliot 1969, s. 532.
3. Jones, D. R., Purves, M. J.: The carotid body in the duc and the consequences of its denervation upon the cardiac responses to immersion. J. Physiol. London, 211, 1970, s. 279.
4. Lambertsen, C. J.: Grenzen und Errungenschaften auf dem Gebiet der Unterwasserarbeit. Triangel, 8, 1968, s. 167.
5. MacInnis, J. B., Dickson, J. G., Lambertsen, C. J.: Exposure of mice to helium-oxygen atmosphere at pressure to 12 atmospheres. J. Appl. Physiol., 22, 1967, s. 694.

ÚČINOK HYPERBARICKÉHO KYSLÍKA PRI LIEČBE PLYNOVEJ FLEGMÓNY V MODELOVOM POKUSE NA BIELYCH MYŠKÁCH

Pplk. MUDr. Rudolf SEMAN; o. p. RNDr. Jana MIKLÁŠOVÁ

Chirurgické oddelenie vojenskej nemocnice v Bratislave
(náčelník plk. MUDr. Zdenek Rozhold, CSc.)

Okružový hygienicko-epidemiologický oddiel v Bratislave
(náčelník plk. MUDr. Zdenek Rozhold, CSc.)

Od roku 1956, kedy Boerema v Amsterdame opäť po rokoch začal pracovať s hyperbarickým kyslíkom v kardiochirurgii, sa značne rozšírili indikácie jeho použitia. Pascale napríklad popísal úspešné použitie pretlaku kyslíka pri liečbe rozvinutej tetanovej infekcie, Holec a Dostál pri liečbe otráv CO, Brummelkamp, Ševčík, Belokmer, Hitchcoel, Šimko a mnoho ďalších pri liečbe rozvinutej plynovej flegmóny. Bolo experimentálne dokázané, že hyperbarický kyslík dočasne obmedzuje produkciu virulentného alfa-toxinu u klostridií perfringens, avšak nemôže ho inaktivovať, akonáhle je v tkanivách vytvorený. Aj naše klinické

pozorovania nám potvrdzujú pomerne rýchlu zmenu anaerobnej infekcie na hnilobnú, s mohutnou kolikváciou po nasadení hyperbarickej kyslíkovej liečby.

Avšak pacienti popisovaní v literatúre a nakoniec aj pacienti liečení u nás boli už pred aplikáciou hyperbarického kyslíka vo väčšine prípadov liečení antibiotikami, AG sérom, chirurgicky a pod. Zaujímal nás preto účinok hyperbarického kyslíka na anaeróbnú infekciu, ktorá nebola liečená predtým žiadnymi inými liekmi. Pre tento účel sme zvolili metodiku predbežného pokusu na bielych myškách.

Tab. 1

<i>CLOSTRIDIE</i> I	<i>CLOSTRIDIE</i> II <i>HBO</i>
<i>CLOSTRIDIE</i> <i>AGS</i> III <i>TTC</i>	<i>CLOSTRIDIE</i> <i>AGS</i> IV <i>TTC</i> <i>HBO</i>

Metodika

Sledovanie bolo prevádzané na 40 bielych myškách priemernej váhy 16–18 gramov, rovnakého pohlavia, za spolupráce mikrobiologického pracoviska OHEO Bratislava. Modelová infekcia bola vyvolaná aplikáciou 0,1 suspenzie prepraných spór *Clostridium perfringens*, ktoré sme získali z Ústavu typových kultúr v Prahe. Tieto boli v riedení 1 : 10 podané subkutánne do chrbtovej krajiny pokusného zvierata.

Pokusné zvieratá sme rozdelili do 4 skupín (tab. 1):

I. skupina — kontrolná. Sledovaný spontánny priebeh klostrídiovej infekcie.

II. skupina — aplikovaný len hyperbarický kyslík.

III. skupina — prevedená profylaxia podaním AG séra a TTC.

IV. skupina — prevedená kompletná profylaxia anaeróbnej infekcie podaním AG séra, TTC a pravidelnej hyperbarickej liečby.

AG sérum bolo podané rovnakým spôsobom, ako je uvedené vyššie, v dávke 300 j. frakcie na 1 kg váhy jednorázove, TTC podaný intraperitoneálne v dávke 10 mg na 1 kg váhy za 24 hod. Tieto dávky boli prepočítané a redukované na skutočnú váhu pokusných zvierat. Tetracyklínu sme dali prednosť pred ostatnými širokospektrými antibiotikami, napr. Lincomycinom a ďalšími, pre jeho dobrý profylaktický účinok u anaeróbnych infekcií, ako ho popísal Konečný a Petýrek. Vlastná hyperbarická oxygenácia bola prevádzaná na našom oddelení v pretlakovej komore o obsahu 2000 litrov, plnenej čistým kyslíkom, na liečebný pretlak 3 atmosfér, dva razy denne v expozícii po dvoch hodinách, po dobu 7 dní. Za kritérium účinnosti liečby a profylaxie sme zvolili sledovanie doby prežívania pokusných zvierat a ich hynutie. Pokusné zvieratá sme sledovali po dobu 14 dní.

Výsledky pokusu

V prvej skupine infikovaných zvierat bez profylaxie a liečby dochádzalo k uhynutiu od 2. do 7. dňa sledovania za príznakov rozvinutej plynovej flegmóny. Celkove uhynuli zvieratá tejto skupiny v 100% počte (tab. II).

V druhej skupine, ktorá nás zvlášť zaujímal, lebo sme okrem hyperbarického kyslíka nepoužili žiadnej inej liečby, dochádzalo k hynutiu 3. až 7. deň pokusu. Celkom uhynulo 40 % pokusných zvierat. Z tejto skupiny prežilo teda anaeróbnu infekciu 60 % pokusných zvierat.

V tretej skupine, kde sme previedli profylaxiu podaním AG séra a TTC, avšak nepoužili hyperbarický kyslík, bolo hynutie zaregistrované až na 6. deň sledovania, a to celkovo v 10 % sledovaných zvierat. Ostatné zvieratá prežili sledovanú dobu 14 dní.

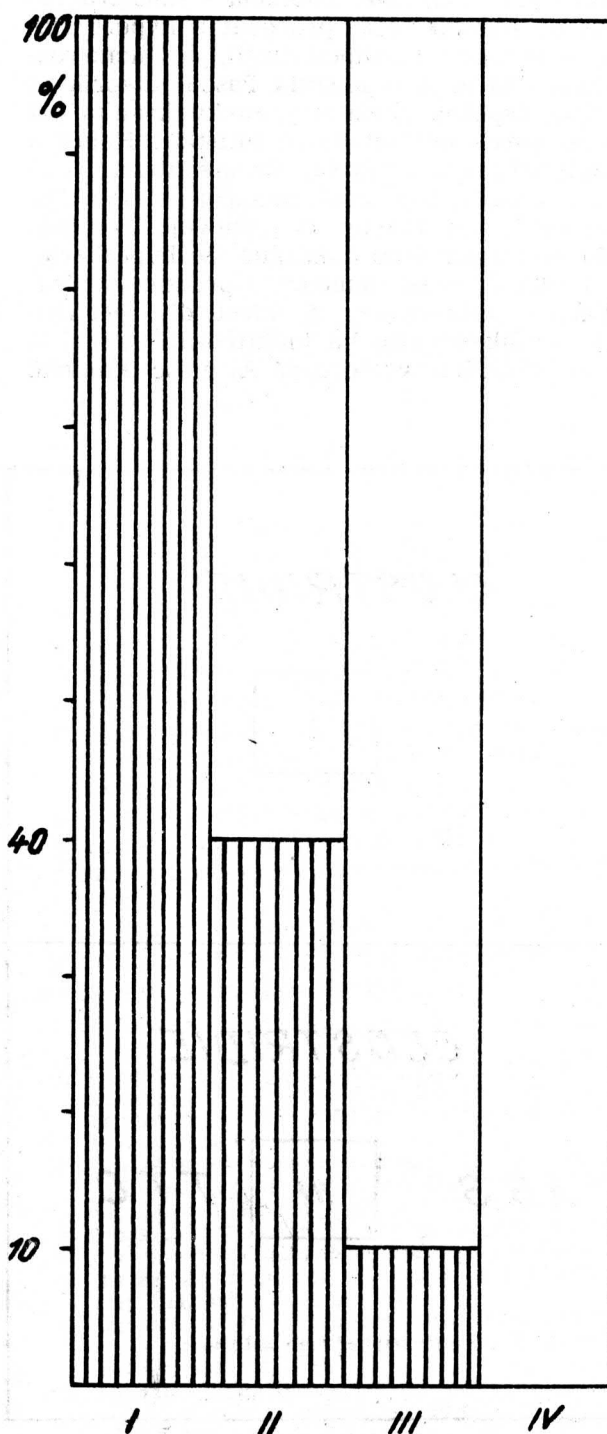
Vo štvrtej skupine, kde sme podávali AG sérum, TTC a po dobu 7 dní aplikovali hyperba-

rickú liečbu, prežili zvieratá v 100% počte anaeróbnu infekciu, sledovanú do 14. dňa pokusu.

Diskusia

Výsledky tohoto sledovania sú shodné s prácami Petrova a Berkutova na králikoch. Hill a Osterhaud zistili, že kyslík pri 3 atmosférach pretlaku (2 ATA) ničí klostrídie *perfringens* behom 48 hodín. Pokusy s morčatmi na chirurgickej klinike v Amsterdame dokázali značné oslabenie anaeróbnej infekcie po liečbe hyperbarickou oxygenáciou. Zaujímavé sú aj práce

Tab 2



Konečného, ktorý sledoval priebeh klostrídiovej infekcie u 200 bielych myší, vo vzťahu k nemoci z ožiarenia a včasnej profylaxie antibiotikami. Haglia a Arnar popísali nemalý význam enzýmu katalázy, ktorý je prítomný v rozkladajúcich sa tkanivách a krvi a ktorý akoby chránil klostrídie pred účinkom kyslíka. Pri použití špecifického inhibítora — aminotrizolu boli klostrídie v pokuse rýchlo usmrcované.

Naše sledovanie nám potvrdilo známú skutočnosť terapeutického efektu hyperbarickej oxygenácie na klostrídiové infekcie, ako aj významný účinok včasnej profylaxie AGS a TTC, ktoré podané do 2 hodín od vzniku infekcie môžu zabrániť jej vzplanutiu v organizme. Ďalšie zlepšenie znamená podávanie antibiotík priamo do rany, ako to popísal Hardaway. Z tohto aspektu hodnotíme hyperbarickú oxygenáciu ako nezbytnú súčasť komplexnej a včasnej profylaxie anaeróbných infekcií, s ktorými sa v našej klinickej praxi, i keď nie často, ale predsa stretávame.

Súhrn

Autori sledovali v modelovom pokuse klostrídiovej infekcie na bielych myškách po dobu 14 dní liečenie plynovej flegmóny vo vzťahu

k účinku hyperbarického kyslíka a včasnej profylaxie antibiotikami. Bol dokázaný významný účinok včasnej, ale hlavne komplexnej profylaxie.

Literatúra

1. Berkutov, A. N.: Voj. Med. Ž., 7, 1967, s. 21—25.
2. Brumelkamp, W. H. Boerema, I. Hoogendyk, L.: Treatment of clostridial infections with hyperbaric oxygen drenching. Lancet, 1, 1963, s. 235—238.
3. Doležal, V.: Současný stav léčení hyperbarickým kyslíkem. Voj. zdrav. Listy, 42, 1973, čl. 1, s. 20.
4. Flenley, D. C.: The rationale of oxygen therapy. Lancet, 1, 1967, s. 270—273.
5. Hardaway, R. M.: Milit. Med., 132, 1967, 11, s. 873 až 887.
6. Konečný, B., Erichleb, M.: Vliv podání AG séra, TTC a jejich kombinace na profylaxi modelové klostrídiové infekce. Sborník vědeckých prací VLVDÚ, 52, 1970, s. 109—137.
7. Kolesov, A. P. et al.: Treatment of postoperative complications in hyperbaric chambers. Chirurgia, 43, 1967, s. 3—7.
8. Pascale, L. R. et al.: Surgical applications of the hyperbaric chamber, Surg. Clin. Amer., 48, 1968, s. 63—70.
9. Petrov, R. V.: Med. Radiol., II, 1957, 2, s. 60—64.
10. Trapp, W. G.: Hazards of hyperbaric chambers. Canad. Med. Ass. J., 97, 1967, s. 227—228.