616—001.11—07:546.21

VÝZNAM KYSLÍKOVÉHO TOLERANČNÍHO TESTU PŘI VYŠETŘOVÁNÍ POTÁPĚČŮ

MUDr. V. DOLEŽAL
Ústav leteckého zdravotnictví, Praha

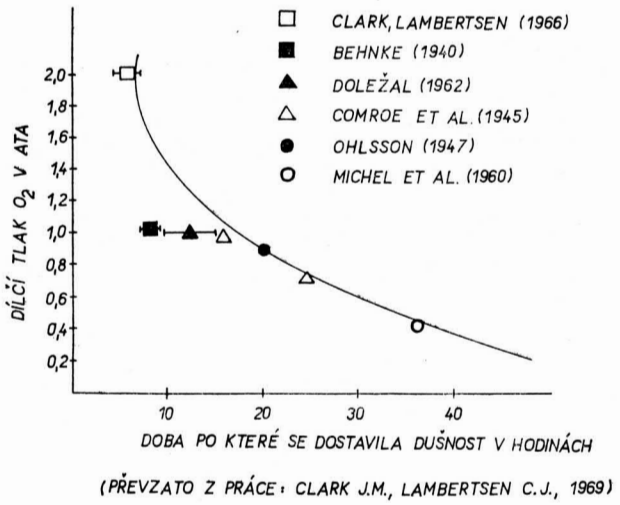
Při hledání surovinových zdrojů na dnech moří a oceánů byl v posledních letech dosažen velký technický pokrok. Výsledky nových fyziologických výzkumů a poznatků umožňují potápěčům dosáhnout hloubek několika set metrů. Při tom je však nutné ještě překonat řadu problémů fyzikálního charakteru (velký tlak, studená voda apod.), dále toxické účinky chemicky aktivních látek, které se při vysokém tlaku vdechují, a otázky plynoucí ze snahy po urychlení dekompresní doby, patofyziologie a terapie dekompresního syndromu.

V této práci je podán rozbor významu použití kyslíku v potápěčské praxi a z toho vyplývající nutnost vyšetřovat u všech potápěčů toleranci ke kyslíku.

Uplatnění maximálních snesitelných tlaků kyslíku po dlouhou dobu vyžaduje přesnou definici tolerance ke kyslíku. Toxický účinek kyslíku nelze eliminovat, avšak stanovení přesných hranic tolerance člověka ke kyslíku umožňuje jeho maximální využití v určitých bezpečných tlakových a časových rozmezích. Nejvíce informací o toleranci člověka ke kyslíku při tlaku 2 ATA a vyšším pocházejí od Donalda (1947), který provedl více než 2 000 expozicí dobrovolníků hyperbarickému kyslíku.

Při studiu tolerance člověka ke kyslíku při normálním barometrickém tlaku bylo zjištěno, že citlivost ke kyslíku vykazuje značnou individuální variabilitu. V grafu 1 je znázorněna doba, po které se objevují první subjektivní příznaky otravy kyslíkem, jako dušnost, retrosternální bolesti a kašel (Lambertsen 1968). Objektivní změny po dlouhodobém dýchání kyslíku při normálním barometrickém tlaku spočívají mimo jiné v poklesu vitální kapacity, čehož bylo použito pro objektivní hodnocení tolerance člověka ke kyslíku (Doležal 1962). Na základě tohoto objektivního ukazatele byla sestrojena křivka tolerance plic ke kyslíku, jak je znázorněno v grafu 2 (Lambertsen 1968). V grafu je kromě křivky tolerance plic ke kyslíku znázorněna křivka hranice tolerance CNS ke kyslíku. Obě křivky byly konstruovány na základě vyšetření zdravých dobrovolníků v klidu při dýchání 100% kyslíku při různých tlacích prostředí.

Graf 1

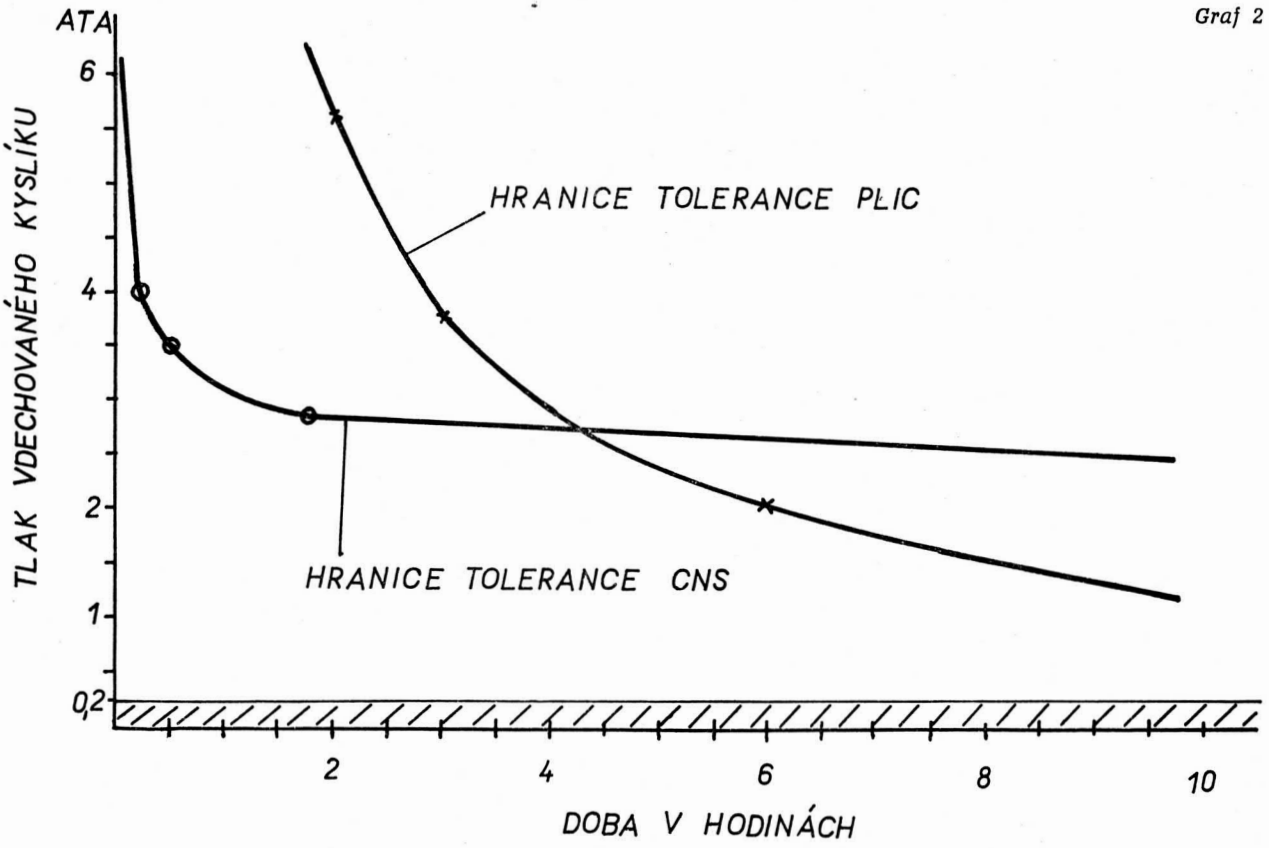


(PŘEVZATO Z PRÁCE: CLARK J.M., LAMBERTSEN C.J., 1969)

Obě křivky jsou pravoúhlé hyperboly sestrojené na předpokladu, že neomezená tolerance plic a CNS ke kyslíku neexistuje a že při dostatečně nízkém tlaku vdechovaného kyslíku se nezjistí patologické změny. Hranice tolerance plicní tkáně ke kyslíku je dána tlakem 0,6 ATA, protože při tlaku 0,5 ATA nebyly nalezeny identifikovatelné patologické změny ani po 14 dnech dýchání kyslíku. Hranice odolnosti pro CSN je dána tlakem 2,8 ATA, protože při tlaku 2,5 ATA nedošlo k žádným patologickým změnám a projevům otravy CNS ani po 8—10 hodinách expozice. Body na křivce tolerance CNS ke kyslíku ukazují tlak 2,8, 3,5, a 4,0 ATA, které odpovídají 10% výskytu symptomů otravy kyslíkem u zdravých dobrovolníků. Na křivce tolerance plic ke kyslíku je vyznačen křížkem 5% pokles vitální kapacity. Tolerance ostatních orgánů ke kyslíku je různá, ale zpravidla vyšší než CNS a plic. Tato odlišná tolerance závisí na prokrvení jednotlivých tkání, na citlivosti buněk a enzymatických systémů vůči kyslíku.

Dobu dýchání vysokého tlaku kyslíku lze prodloužit tím, že se kyslík dýchá přerušovaně při nižším PO_2. Tento způsob umožňuje rozsáhlejší využití vyšších tlaků kyslíku v potápěčské praxi, při dekompresi, při léčení dekompresního syndromu a při léčení hyperbarickým kyslíkem. Tím se posune křivka tolerance ke kyslíku doprava. Zvýšení tolerance a prodloužení bezpečné doby expozice kyslíku ukazuje graf 3. V grafu je znázorněno toxické působení kyslíku na CNS a procento postižených pokusných zvířat (morčat) — na abscise a působení 100% kyslíku při tlaku 3 ATA v hodinách — na ordinátě. Polovina pokusných živočichů dýchala kyslík nepřetržitě — křivka vlevo, polovina dýchala střídavě 30 min. kyslík a 10% směs 7% kyslíku a 93% dusíku — křivka vpravo. Přerušované dýchání kyslíku ukazuje, že tolerance CNS ke kyslíku se zdvojnásobila (Lambertsen 1968). Body na křivce vpravo je vyznačena doba, kdy pokusná morčata dýchala směs s nižším tlakem O_2.

Graf 2



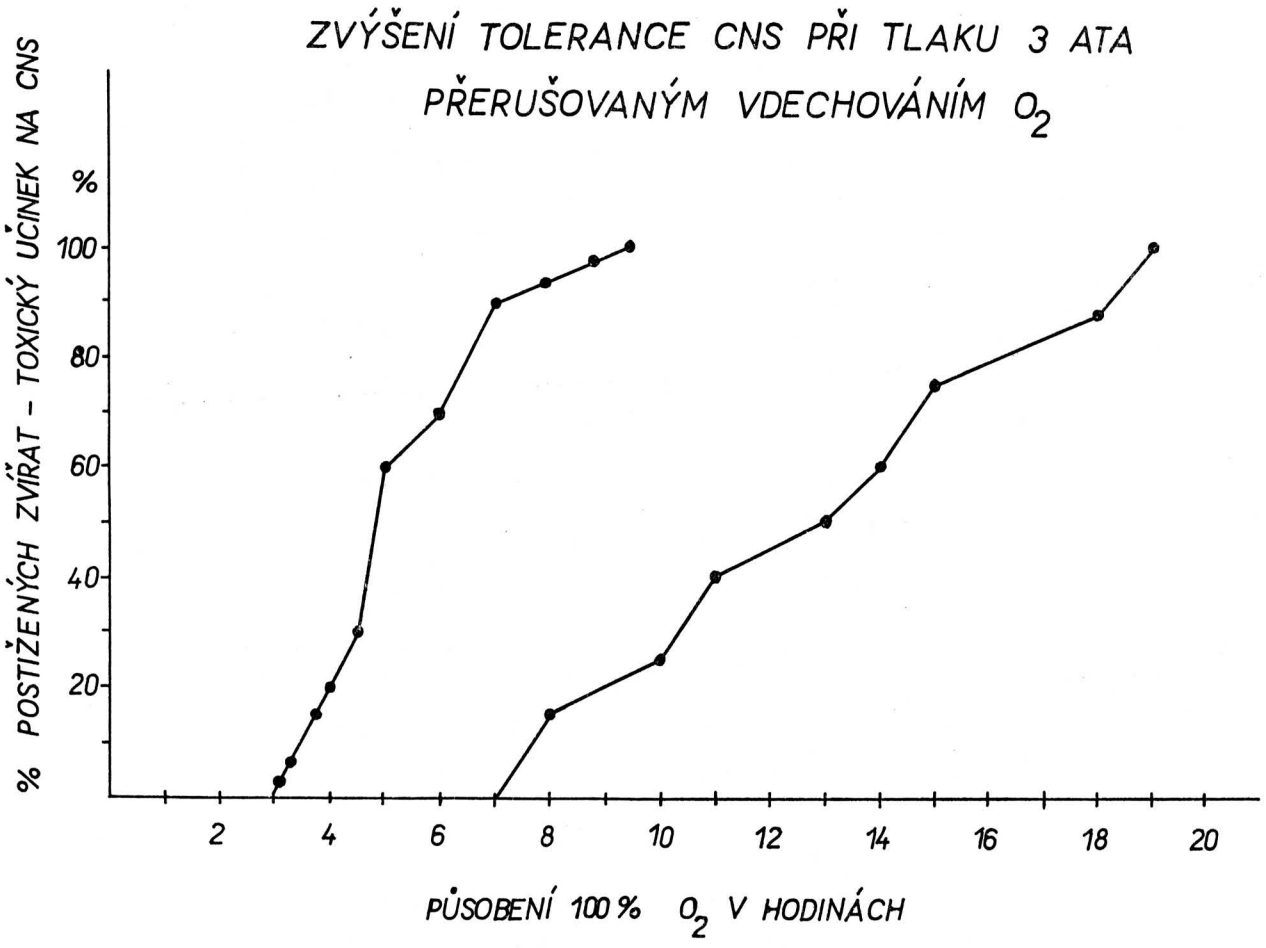
V potápěčské praxi je použití čistého kyslíku posunuto k nižším tlakům (graf 4). Podle příručky amerického námořnictva (1970) je hranice bezpečného dýchání kyslíku pod vodou dána hloubkou 7,5 m a dobou 1 hod. V hloubce 3 m lze dýchat kyslík při pracovním zatížení 3 hodiny. Pro mimořádné účely je hranice pro dýchání kyslíku posunuta až k 12 m.

Zkrácení dekompresní doby lze docílit postupným zvyšováním koncentrace kyslíku v dýchacím médiu. Při dlouhotrvajících expozicích vysokým tlakům musí být koncentrace kyslíku podstatně redukována, takže během dekomprese nutno procento kyslíku postupně zvyšovat, aby se předešlo hypoxii. Po několikahodinové expozici vysokému tlaku dýchá potápěč při dekompresi připravené směsi dusíku, helia a postupně vyšší koncentraci kyslíku. Potápěč má možnost během dekomprese dýchat příslušné směsi buď z připravených lahví, nebo nověji se dekomprese provádí v přetlakové komoře. Tato druhá možnost je výhodná především po dlouhodobé expozici vysokým tlakům. Se zvyšováním tlaku prostředí stoupá dílčí tlak dusíku ve všech tkáních, takže při tlaku 4 ATA činí 3,2 ATA. Během dekomprese lze urychlit eliminaci dusíku střídáním dýchání inertních plynů, zejména z málo prokrvených tkání. Technika záměny intertních plynů během dekomprese je založena na poznatku, že saturace a desaturace helia probíhá 2—3krát rychleji nežli dusíku. Kombinace této metody s dýcháním vysokých tlaků kyslíku umožňuje významné zkrácení dekompresní doby.

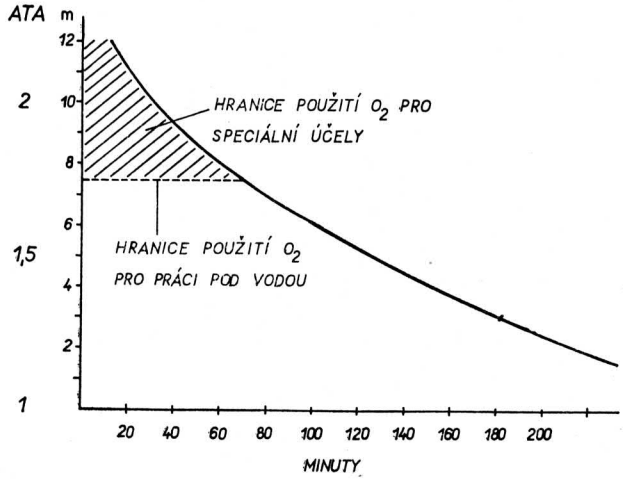
Při potápění do velkých hloubek na dobu kratší než 1 hod. lze dekompresní dobu zkrátit dýcháním kyslíku na několik hodin. Při hloubkovém potápění, jak ukázaly pokusy, na dobu delší než 60 min., což je významné z praktického hlediska, by byla dekomprese neekonomicky dlouhá. Např. po 60minutové expozici 160 m by dekomprese trvala 20 hodin. Proto se při těchto pracech potápěči nevynořují při každé expozici tlaku, ale zůstávají po celou dobu akce v přetlakových komorách v příslušné hloubce. Po skončení práce, která může trvat několik hodin až dní, provede potápěč dekompresi najednou v pohodlných a technicky vybavených přetlakových komorách. Po expozici velkým hloubkám, např. 310 m na dobu 5 min., trvá dekomprese 4,5 hodiny. Je to maximálně urychlená dekomprese při použití směsi s vysokým obsahem kyslíku. Dekomprese z této hloubky je vyznačena v grafu 5. Znázorňuje dekompresi s postupně se zvyšující koncentrací kyslíku v dýchací směsi. 5 minut v hloubce 310 m byla dýchána směs 8% kyslíku a 92% dusíku (Bühlmann 1969).

Nejdůležitější metodou urychlující a usnadňující dekompresi je tedy použití maximálního snesitelného tlaku kyslíku. Dýcháním kyslíku se zamezí saturaci indiferentním plynem během výstupu, urychlí se vylučování indiferent-

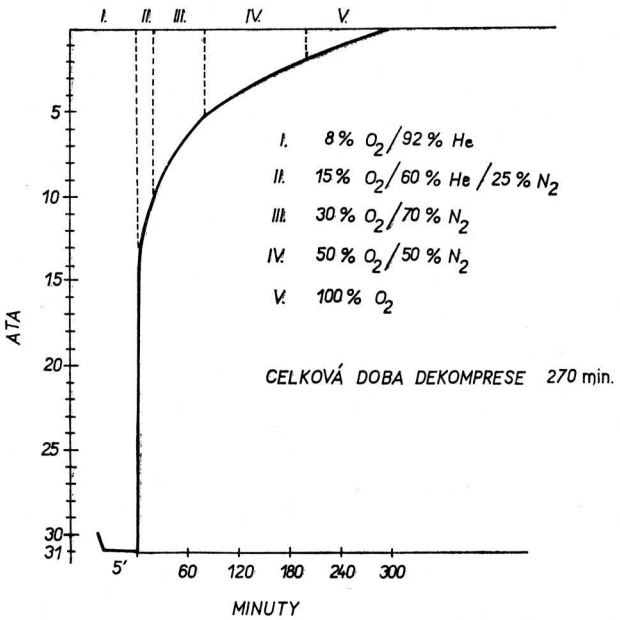
Graf 3



Graf 4



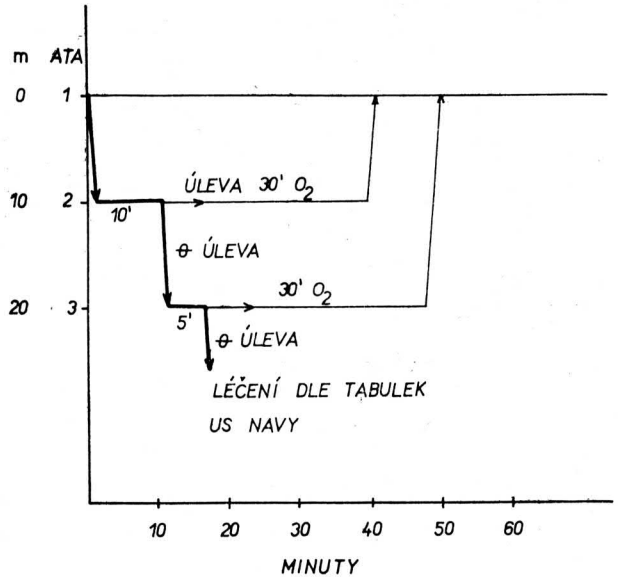
Graf 5



ního plynu a usnadní se léčení dekompresního syndromu.

Goodman a Workman (1965) použili pro léčení dekompresního syndromu I. a II. stupně kyslíku při nízkém tlaku. Tato metoda má tu přednost, že se postižený potápěč nevystavuje vysokému tlaku, odstraní se lokální ischémie, zamezí se další saturace inertním plynem, vytvoří se maximální tlakový rozdíl pro eliminaci inertního plynu, a tím se celková doba léčení podstatně zkrátí. Dekomprese se pak provádí po exponenciální křivce, čímž s dosáh-

Graf 6



ne desaturace odpovídající sycení tkání inertním plynem. Schematicky je tento léčebný režim znázorněn v grafu 6. Při diagnostice dekompresního syndromu se provede komprese na 2 ATA při dýchání kyslíku; jestliže nastane úleva po 10 minutách, dýchá se dále kyslík 30 min. s následnou dekompresí. Nenastane-li po 10 minutách úleva, provede se komprese do 3 ATA. Nastane-li úleva po 5 minutách, dýchá se kyslík na tomto tlaku dalších 30 minut a pak se provede dekomprese. Nenastane-li po 5min. dýchání kyslíku ve 3 ATA úleva, další léčení dekompresního syndromu se provádí standardní metodikou.

Z uvedených aplikací kyslíku v potápěčské praxi vyplývá nutnost provádění zkoušky tolerance ke kyslíku při tlaku 3 ATA u všech potápěčů, aby se tak odhalili jedinci se sníženou odolností ke kyslíku.

Závěr

V souhrnném referátu je podán přehled nejdůležitějších aplikací kyslíku v potápěčské praxi (při práci pod vodou, při léčení dekompresních příhod apod.). O významu jeho použití svědčí také skutečnost, že téměř všechny přímořské státy zavedly do souboru metod vyšetřování uchazečů o potápěčskou profesi také metodu vyšetřování odolnosti vůči kyslíku.

Literatura

Bühlmann, A. A.: The use of multiple inert gas mixtures in decompresion. In:The physiology and medicine of diving and compressed air work. London, England, E.: Bennett, P. B., Elliot, D. H., Bailliéro Tindall and Cassel, 1969, první vydání, s. 357.

Clark, J. M., Lambertsen, C. J.: Rate of development of pulmonary oxygen toxicity in normal men at 2 ATA ambient. Fed. Proc., 25, 1966, s. 566.

Doležal, V.: The efect of longlasting oxygen inhalation upon respiratory parameters in man. Physiol. Bohemoslov., 11, 1962, s. 145.

Donald, K. W.: Oxygen poisoning in man. Brit. med. J. 1, 1947, s. 667.

Goodman, M. W., Workman, R. D.: Minimal decompression sickness in compressed air work. Ed.: London, decompression sickness in divers and aviators. In: Clinical manifestations and treatment of decompression sickness in compressed air work. Ed.: London, England, Bennett, P. B., Elliot, D. H., Bailliére Tindall and Cassell, 1969, s. 533.

Lambertsen, J. Ch.: Effects of excessive pressure of oxygen, nitrogen, carbon dioxide and carbon monoxide : implications in aerospace und undersea environments. In: Medical Physiology, vol. 1., Ed.: Saint Luis, USA, V. B. Mountcastle, C. V. Mosby Comp., 1968, s. 836.

U. S. Navy Diving Manual, part 1, General principles of diving. USA, Washington, D. C. 20350, Navy Department 1970, s. 661.