

616-001.45-08:615.836:615.847.1

HYPERBARICKÁ OXYGENOTERAPIE VÁLEČNÝCH ZRANĚNÍ, OTRAV A ÚRAZŮ

¹Miloš SÁZEL, ¹Petr DOŠEL, ²Vladimír DOLEŽAL¹Ústav leteckého zdravotnictví, Praha,²Asociace pracovníků v hyperbarické medicíně

Souhrn

Hyperbarická oxygenoterapie (HBO₂) je významnou léčebnou metodou užívanou po celém světě stejně jako v České republice. Kyslík dýchaný v přetlakové komoře přispívá řadou mechanismů k reparaci poškozené tkáně. Indikace HBO₂ má několik stupňů naléhavosti, ale u některých diagnóz je indikace léčby vitální. Pro válečné podmínky se předpokládá uplatnění především v léčbě intoxikace CO, plynové gangrény, traumatického šoku, compartment a crush syndromu, popálenin a chronické osteomyelitidy. Jsou shrnuty zkušenosti některých autorů s HBO₂ v této oblasti a uvedeny hodnoty přetlaku a doby léčby. Hlavní kontraindikací HBO₂ je pneumotorax. Polní útvary zdravotnické služby by měly být vybaveny přetlakovou komorou pro HBO₂. Ústav leteckého zdravotnictví Praha má dlouhodobé zkušenosti s HBO₂ a nabízí případné konzultace nebo školení v hyperbarické medicíně.

Klíčová slova: Přetlak; Kyslík; Přetlaková komora; Hyperbarická oxygenoterapie; Válečná indikace.

The Use of Hyperbaric Oxygen Therapy in Military Casualties, Intoxication and Injuries

Summary

Hyperbaric oxygen therapy (HBO₂) is an important therapeutic method used all over the world and as well as in the Czech Republic. Oxygen breathed inside a hyperbaric chamber contributes to the healing of impaired tissue. HBO₂ indication has a few degrees of urgency but the indication of this treatment is vital in some diagnoses. Its use in wartime conditions is particularly presumed for treatment of CO intoxication, gaseous gangrene, traumatic shock, compartment and crush syndrome, burns and chronic osteomyelitis. The experiences of some authors with HBO₂ are summarized, and the values of overpressure and the time of treatment are reported. The primary contra-indication related to HBO₂ is pneumothorax. Military Medical Service field units should be equipped with a hyperbaric chamber for HBO₂. The Institute of Aviation Medicine in Prague has extensive experience with HBO₂ and offers possible counselling or training in hyperbaric medicine.

Key words: Overpressure; Oxygen; Hyperbaric chamber; Hyperbaric oxygen therapy; War indication.

Úvod

Předmětem sdělení je stručné shrnutí literárních zkušeností a poznatků s léčbou hyperbarickým kyslíkem u zranění a nemocí, které se mohou masivně vyskytnout při válečných konfliktech, přírodních katastrofách nebo haváriích.

Léčba pacientů podáváním kyslíku v přetlaku – hyperbarická oxygenoterapie (dále HBO₂) zasahuje do řady lékařských oborů. HBO₂ začala v 60. letech minulého století zásluhou holandského chirurga prof. Boeremy a spol. (4). Dnes se počty léčebných přetlakových komor ve světě pohybují řádově minimálně v tisících (bez komor pro potápěče!). Všechna pracoviště tohoto zaměření v České republice (momentálně 14) jsou sdružena v celostátním sdružení „Asociace pracovníků v hyperbarické medicíně“, které napomáhá rozvoji oboru, organizuje pravidelné

odborné konference, poskytuje odborné konzultace, zastupuje pracoviště v zahraničí apod.

(viz <http://www.aphm.cz>).

Zařízení letecké zdravotnické služby, zejména vojenská, jsou zpravidla přetlakovou komorou vybavena. Jejím primárním určením je léčba výškové dekompresní nemoci (8). V Ústavu leteckého zdravotnictví je v provozu přetlaková komora – sloužící především k HBO₂ – od roku 1966. V poslední době byla komora modernizována a přizpůsobena soudobým požadavkům (24, 25).

Princip léčby

Základem léčebného efektu HBO₂ je především zvýšení dodávky kyslíku do cílových tkání, které trpí hypoxií. Přetlak kyslíku zlepšuje jeho difuzi na

alveolokapilární membráně. Po přestupu kyslíku do krve se jím zcela nasytí hemoglobin, ale především stoupá množství rozpuštěného kyslíku v krevní plazmě. Tento fyzikálně rozpuštěný kyslík může plně nahradit základní metabolickou potřebu tkání (10). Kladně také ovlivňuje odbourávání oxidu uhelnatého z hemoglobinu (2, 3) a redukcí methemoglobinu. Při lokálních poruchách oběhu kompenzuje vyšší obsah kyslíku nižší průtok krve. I při úplné ischemii se díky difuzi šíří do značné hloubky tkáně. Vliv kyslíku u ischemické či stagnační hypoxie je komplexní – stimulace reparace poškozených buněk a osteogeneze, baktericidní a bakteriostatické účinky (anaerobní mikroby), zvýšení baktericidní schopnosti leukocytů, ochrana intracelulárního ATP a peroxidace lipidů. Jako možný se uvádí i inhibiční vliv na maligní buňky.

Hyperbarie se podílí významně na léčení dekompresní nemoci zmenšením a rozpuštěním dusíkových bublin (9) a přispívá k léčení procesů v uzavřených stěnách kostí a zubů vlivem na zánětlivý tkáňový edém (3). Připouští se i imunosupresivní vliv. Kombinace obou účinků léčby je zřetelná u řady procesů, zejména při hojení ran a ranných ploch.

Mírové indikace

K prvnímu stupni indikační naléhavosti patří dekompresní nemoc, vzduchová embolie, otrava oxidem uhelnatým a kouřovými plyny, akutní anoxie mozku při cévní mozkové příhodě, postanoxická encefalopatie (apalický syndrom), anaerobní klostridiální infekce, diabetická noha, crush syndrom, kompartment syndrom, popáleniny, osteoradionekróza, hemoragický šok (1, 3, 6, 8, 15).

Do druhého stupně indikace se řadí cystoidní pneumatóza střeva, otrava kyanidy, kardiogenní šok, polytrauma, percepční porucha sluchu a replantace traumaticky amputované končetiny (16, 18).

Třetí stupeň indikací zahrnuje methemoglobinemii, ohrožení životnosti transplantovaného štěpu či laloku, ischemická choroba dolních končetin s tvorbou trofického defektu, bércový vřed žilního a smíšeného původu a dekubitální nekróza (13).

V ostatních případech je indikace relativní nebo je ověřována – hyperbaroxie „objemově limitovaných tkání“, dysbarická osteonekróza, zlomeniny, infekční onemocnění, autoimunní choroby, roztroušená skleróza mozkomíšni, jaterní nemoci, potenciace nádorové radioterapie (27), ulcerózní dermatitida, pigmentová degenerace sítnice (18).

Spektrum běžně léčených chorob je široké, ale nemoci vnitřního ucha a nemoci cév dolních končetin však tvoří obvykle přes 80 % léčených diagnóz (13, 20, 23).

Válečné indikace

Intoxikace oxidem uhelnatým a kouřovými plyny

Příznivý účinek inhalace čistého kyslíku při otravách oxidem uhelnatým (dále CO) byl předpokládán již anglickým fyziologem Haldanem v roce 1885. Avšak teprve v 60. letech 20. století našla tato metoda své uplatnění. Na základě četných pokusů na zvířatech a z klinických zkušeností se prokázalo, že poločas disociace karboxylhemoglobinu (dále COHb) při dýchání kyslíku při tlaku 0,3 MPa se zkrátí na 20–25 minut oproti 5 hodinám při dýchání vzduchu při normálním atmosférickém tlaku. Eliminace CO nastane nejen z vazby na hemoglobin, ale i z vazby na tkáňové enzymy, např. cytochromoxidázu. Významná je především skutečnost, že při léčbě otrav CO pomocí hyperbarického kyslíku se předejde pozdním neuropsychickým poruchám z intoxikace. Byla publikována řada prací z léčby otrav CO pomocí HBO₂ (2, 3, 11, 14, 18, 28). Pomocí ní by měl být léčen každý pacient, u něhož se zjistí koncentrace COHb vyšší než 40%. Rozhodujícím faktorem je však klinický stav postiženého a jeho anamnéza, takže aktuální hladina COHb je sekundární. Při prokázané intoxikaci CO nebo při podezření na intoxikaci kouřovými plyny je nutné pacienta co nejdříve – do dvou hodin – léčit pomocí hyperbarického kyslíku.

Tím dosáhneme:

- zrychlení klinického zotavení (ústup až vymizení neurologických symptomů, bolesti hlavy, zvracení apod.),
- urychlení eliminace CO a jeho významný pokles během 2 hodin,
- zlepšení parametrů EEG za 24 h,
- významně lepší mozkový krevní oběh po 3 týdnech léčby pomocí HBO₂ (prevence následné patologie).

Při otravě nebo podezření na otravu kouřovými plyny je nutné co nejdříve aplikovat kyslík při normálním atmosférickém tlaku již během transportu, a to po celou dobu až do doby komprese v přetlakové komoře. Pro tyto účely se doporučuje vybavit zdravotnické jednotky pojízdnými přetlakovými komorami nebo modifikovaným „Gamovým pytlím“, který umožňuje inhalaci kyslíku při tlaku až do tlaku 0,2 MPa (18, 19, 26).

Plynová gangréna

V šedesátých letech popsali Boerema a Brumelkamp poprvé příznivý účinek inhalace hyperbarického kyslíku při tlaku 0,3 MPa při klostridiální myonekróze (4). Později bylo prokázáno, že produkce alfatoxinu se zastaví, dosáhne-li parciální

tlak kyslíku ve tkáni 250 torrů. Při inhalaci kyslíku při tlaku 0,3 MPa vystoupí tenze kyslíku v arteriální krvi na cca 2100 torrů. Tento tlak kyslíku má bakteriocidní účinek nejen na anaerobní mikroorganismy, fakultativní anaeroby, ale i na řadu dalších bakterií (21). Hyperbarický kyslík zvýší produkci kyslíkových radikálů (superoxidy, peroxidy, hydroxiradikály, singletový kyslík), a to intracelulárně i extracelulárně. Striktní anaeroby nemají obranné mechanismy, tj. schopnost tvorby enzymů, kterými by tyto radikály inaktivovaly, jako např. superoxidodismutázový nebo katalázový enzymatický systém. Aerobní mikroorganismy tyto enzymy sice mají, kyslík na ně však působí nepřímo a to tím, že podporuje fagocytózu a „killer“ schopnost leukocytů. Po fagocytóze nastane degranulace nezávislá na přítomnosti kyslíku, následovaná prudkým vzestupem spotřeby kyslíku, kdy se aktivuje myeloperoxidázový systém, který umožní vývoj kyslíkových radikálů v leukocytech, pomocí nichž bakterie ničí. Nejčastěji vypěstovaným anaerobem z infekčních ložisek bylo *Clostridium perfringens*, a to u 87–90 % pacientů.

HBO₂ je základní způsob léčby plynaté sněti. Cílem této terapie je zabránit šíření flegmóny a produkci alfatoxinu. HBO₂ je život zachraňující a není nutné provádět rozsáhlé chirurgické intervence. Odpadá nutnost vysoké amputace a rozsáhlé delace-race tkání. Při HBO₂ se nekrotická oblast přesně demarkuje a pak chirurgicky odstraní. Přesná demarkační linie se objeví již v průběhu 24–48 hodin po inhalaci kyslíku. Moderní léčba plynaté gangrény spočívá v co nejrychlejší aplikaci hyperbarického kyslíku a podání antibiotik, v případě potřeby i klasické resuscitace. Doporučuje se dvouhodinová expozice tlaku při 0,25–0,3 MPa, a to 2–3krát v průběhu 24 hodin při současné inhalaci kyslíku. Výskyt plynaté sněti je spojován zejména s poraněním za válečných podmínek, v poslední době však došlo k významnému nárůstu incidence plynaté gangrény i při automobilových haváriích.

Šokové stavy, crush a kompartment syndrom

Traumatický šok za války, při živelních pohromách nebo jiných nehodách je častý a může skončit letálně, protože projevy šoku nemusí být ihned po úrazu patrné nebo přítomné. Trvání tohoto úrazového syndromu může být různě dlouhé a bez včasné a adekvátní terapie vyústí zpravidla v šokový stav. Poznatky získané při válečných akcích a přírodních katastrofách v poslední době ukázaly, že např. osoby, které byly zasypány v sutinách domů a měly stlačeny končetiny po dobu 8–12 hodin, vypadaly sice po uvolnění a vyproštění klinicky uspokojivě, ovšem v průběhu dalších 24–48 hodin se rozvinula

myoglobinurie a akutní selhání ledvin.

U traumatického a popáleninového šoku dochází k častým lokálním a celkovým změnám, které jsou důsledkem hypoxie a ischemie tkáně. Při HBO₂ dojde k redukci edému vazokonstrikčním efektem a zvýší se bakteriocidní účinek leukocytů. Ihned po základním chirurgickém ošetření zraněného se doporučuje HBO₂, první dva dny vždy na 90–120 minut 4–6krát v průběhu 24 hodin při tlaku 0,25–0,3 MPa (5, 7, 18).

U zranění končetin se často vyskytuje kompartment syndrom, který lze zvládnout pomocí inhalace kyslíku při tlaku 0,3 MPa. Vazokonstrikce vyvolaná kyslíkem zmenší otok kosterního svalstva a sníží tlak intersticiální tekutiny uvnitř myofasciálního prostoru. U crush syndromu i u kompartment syndromu pomůže HBO₂ snížit až odstranit edém a lokální ischemii. Při výrazném zvýšení tlaku intersticiální tekutiny a při známkách tlakové neuropatie je však chirurgická intervence před HBO₂ absolutně indikována (20, 22).

Popáleniny

Popáleninový syndrom představuje komplex zranění charakterizovaný zónou koagulace obklopenou oblastí stázy a oblastí hyperémie. Intenzivní zánětlivá reakce vede ke zvýšení permeability kapilár, rychlé tvorbě edému, omezení krevního průtoku vedoucím k ischemii a tvorbě trombů s následnou nekrózou. Tento ischemický proces rychle pokračuje, a to již v průběhu prvních 48 hodin po popálení. Hrozí infekce, která často končí smrtí postiženého. Postižen je také imunitní systém, při značném poklesu imunoglobulinů a v důsledku deficitu kyslíku, kdy dojde i k poruše funkce leukocytů (5).

Pomocí HBO₂ lze minimalizovat nekrózu, zlepšit a podpořit granulaci a likvidaci infekce. Před HBO₂ nutno u popáleného zajistit podpurnou péči, např. zprůchodnění dýchacích cest, rehydrataci, lokální ošetření postižených tkání standardními chirurgickými postupy. Masti a krémy se však v kyslíkové přetlakové komoře nesmí použít z bezpečnostních důvodů. HBO₂ se uskuteční 2krát denně vždy na dobu 90 až 120 minut při tlaku 0,25–0,3 MPa. Hyperbarický kyslík zabrání vazodilataci, exudaci plazmy, popáleninového šoku, infekci popálených ploch, dále kyslík podpoří epitelizaci a oxygenaci kožních štěpů. Současně se léčí i intoxikace kouřovými plyny nebo CO.

Chronická osteomyelitida

Chronická osteomyelitida představuje dnes závažný klinický, ekonomický a sociální problém.

Incidence onemocnění stále stoupá s rozvíjejícím se automobilismem a pracovními úrazy. Přes adekvátní terapii zranění, např. dolních končetin, končí často jejich amputací. U diabetiků nebo nemocných s periferními cévními nemocemi je toto onemocnění zvláště torpidní a vyžaduje často vysokou amputaci.

Výsledky léčby pomocí hyperbarického kyslíku závisí na mnoha faktorech (12). Chronická hematogenní osteomyelitida reaguje zpravidla na chirurgické výkony a na antibiotika uspokojivě. Osteomyelitidu s ložisky infekce však lze léčit velmi obtížně. Výsledky terapie závisí na lokalizaci, na rozsahu zranění, postižení kloubu nebo průvodním onemocněním (cukrovka, vaskulitida), které zapříčiňují, že infikovaná kost je relativně hypoxická a ischemická. I když se provede totální extirpace celé oblasti osteomyelitidy, zůstanou v periférii drobná infekční ložiska, z nichž se po určité době chorobný proces opět rozšíří do okolí. Přes agresivní chirurgický výkon a megadávky antibiotik osteomyelitid stále přibývá. Práce z posledních let ukazují na pozitivní účinek HBO₂ u pacientů s osteomyelitidou, takže řada autorů ji řadí mezi absolutně indikovanou pro HBO₂ (7, 17, 18, 20, 22).

Kontraindikace

K absolutní kontraindikaci HBO₂ patří na prvním místě neléčený pneumotorax, ze kterého se v přetlaku může vyvinout pneumotorax tenzní (ventilový). Doporučuje se zavést do hrudní stěny katétr zajišťující komunikaci pohrudniční dutiny s prostředím přetlakové komory. Další absolutní kontraindikace jsou ve válečných podmínkách vzácné (léčba některými cytostatiky, terapie alkoholiků disulfiramem, otrava herbicidem Paraquat). Relativní kontraindikací jsou některé afekce horních cest dýchacích (akutní infekce, plicní rozedma, plicní trauma, průduškové astma). Globální respirační insuficience bez řízené respirace hrozí při HBO₂ rozvojem respiračního kómatu. Toxicita kyslíku se zvyšuje s narůstající tělesnou teplotou a vyšší činností štítné žlázy. Individuálně je nutno přistupovat např. k nemocným s klaustrofobií, záchvatovitými onemocněními CNS, spontánním pneumotoraxem v anamnéze apod.

Závěr

Hyperbarická oxygenoterapie je významnou léčebnou metodou nejen v míru, ale i ve válečných podmínkách. U některých diagnóz je tato léčebná metoda zcela nenahraditelná. Transportní léčebné přetlakové komory nebo např. Gamowův vak (19)

jsou pro vojenskou zdravotnickou službu k dispozici v řadě armád NATO, např. americké (6, 29), italské (15), ale i ruské a dalších. Tato zařízení umožňují přepravu zraněného vojáka, např. vrtulníkem, do nejbližšího zdravotnického centra vybaveného velkou přetlakovou komorou, umožňující zdravotnickému týmu definitivní ošetření postiženého.

Vojenští lékaři by měli znát HBO₂, její indikace i kontraindikace, mírové i válečné. Předpokládáme nezbytnost vybavení polních vojenských nemocnic minimálně jednou přenosnou přetlakovou komorou. V užívání této léčebné metody má Ústav leteckého zdravotnictví dlouhodobou zkušenost a nabízí poskytnutí odborných rad i krátkodobých školení případným zájemcům.

Literatura

1. ALLEN, DR., et al. Wound hypoxia and acidosis limit neutrophil bacterial killing mechanisms. *Arch. Surg.*, 1997, vol. 132, p. 991–996.
2. BARCAL, R. – EMMEROVÁ, M. – HADRAVSKÝ, M. Význam hyperbaroxie u otrav kysličníkem uhelnatým. *Lék. Sbor. Plzeň, Suppl.*, 1978, roč. 38, s. 97–98.
3. BARCAL, R. – EMMEROVÁ, M. – HADRAVSKÝ, M. Hyperbarie a hyperbarická oxygenoterapie. *Škoda JS, Plzeň*, 2000, 122 s.
4. BOEREMA, I., et al. Life without blood. *J. Cardiovasc. Surg.*, 1960, vol. 1, p. 133–146.
5. CIANCI, P., et al. Adjunctive hyperbaric oxygen therapy refuses length of hospitalisation in thermal burns. *J. Burn Care Rehab.*, 1989, p. 432.
6. CRAMER, SF. Care of the injured soldiers: a medical readiness role for clinical hyperbaric oxygen therapy. *Military Med.*, 1985, vol. 150, p. 372–375.
7. DAVIS, JC. – HUNT, TK. *Probleme wounds. The role of oxygen.* Elsevier, New York, Amsterdam, London, 1988. 242 p.
8. DEHART, RL. *Fundamentals of aerospace medicine. Decompression sickness and pulmonary overpressure accidents.* Philadelphia, 1985, p. 132–161.
9. DOLEŽAL, V. Poznámky k výskytu a léčbě dekompresní nemoci. *Voj. zdrav. Listy*, 1992, roč. 61, s. 143–148.
10. DOLEŽAL, V. Hyperbarická oxygenoterapie. *Čas. Lék. čes.*, 1995, roč. 134, s. 399–403.
11. DOLEŽAL, V. – DVOŘÁK, J. Možnosti přetlakové kyslíkové terapie otravy kysličníkem uhelnatým. *Voj. zdrav. Listy*, 1963, roč. 32, s. 214–216.
12. DOLEŽAL, V. – FREYOVÁ, J. – RUPPERT, J. Vliv hyperbarického kyslíku na záněty kostní dřevě. *Acta chir. orthopaed. traumatol.*, 1970, roč. 37, s. 78–86.
13. DOLEŽAL, V. – PITRÁK, V. – PROCHÁZKOVÁ, J. Přínos hyperbarické oxygenoterapie při léčení ischemických defektů dolních končetin. *Prakt. Lék.*, 1996, roč. 76, s. 128–243.
14. EMMEROVÁ, M. – JIRAVA, F. Je skutečně záhadou onemocnění veteránů z Perského zálivu? *Prakt. Lék.*, 1998, roč. 78, s. 340–343.
15. FIORITO, A. Indications of the use of hyperbaric oxygen in a military medical emergency field. *Int. Rev. armed Forces med. Serv.*, 1995, vol. 67, no. 4/5/6, p. 100–105.
16. GIBSON, JJ. – ANGELES, AP. – HUNT, TK. Increased

- oxygen tension potentiates angiogenesis. *Surg. Forum*, 1997, vol. 48, p. 696–699.
17. GRAY, GC., et al. The postwar hospitalization experience of U.S. veterans of the Persian Gulf War. *N. Engl. J. Med.*, 1996, vol. 335, p. 1505–1513.
 18. JAIN, KK. *Textbook of hyperbaric medicine*. Hogrefe Huber Publ. Toronto, New York, 1990. 492 p.
 19. JAY, GD., et al. Portable hyperbaric oxygen therapy in the emergency department with modified Gamow bag. *Ann. Emerg. Med.*, 1995, vol. 26, p. 707–711.
 20. KINDWALL, EP. *Hyperbaric oxygen practice*. Best Publ Co. Flagstaff AZ, 1999. 468 p.
 21. KNIGHTON, DR. – HALLIDAY, BJ. – HUNT, TK. Oxygen as an antibiotic: The effect of inspired oxygen on infection. *Arch. Surg.*, 1986, vol. 121, p. 191–195.
 22. ORIANI, G. – MARRONI, A. – WATTEL, F. *Handbook of hyperbaric medicine*. Milano, Heidelberg, New York, 1996. 902 p.
 23. SÁZEL, M. – DOŠEL, P. Využití hyperbarické oxygenoterapie. *Voj. zdrav. Listy*, 1997, roč. 66, s. 5–8.
 24. SÁZEL, M. – DOŠEL, P. Transkutánní oxymetrie během hyperbarické oxygenoterapie. *Prac. Lék.*, 2001, roč. 53, č. 3, s. 113–117.
 25. SEDLATÝ, Z. – DOŠEL, P. – SÁZEL, M. Protipožární opatření přetlakové komory. *Prac. Lék.*, 2001, roč. 53, č. 3, s. 144–146.
 26. SHIMADA, H., et al. Immediate application of hyperbaric oxygen therapy using a newly devised transportable chamber. *Am. J. Emerg. Med.*, 1996, vol. 14, no. 4, p. 412–415.
 27. STÁNKOVÁ, J., aj. ¹³¹I metajodobenzylguanidin v kombinaci s hyperbarickou oxygenoterapií v léčbě prognosticky vysoce nepříznivých forem neuroblastomu. *Čas. Lék. čes.*, 2001, roč. 140, č. 1, s. 13–17.
 28. SMITH, G. – SHARP, GR. Treatment of carbon monoxide poisoning with oxygen under pressure. *Lancet*, 1960. 905 p.
 29. WORKMAN, WT. Hyperbaric oxygen therapy and combat casualty care: a viable potential. *Military Med.*, 1989, vol. 154, p. 111–115.

Korespondence: Pplk. MUDr. Miloš Sázel, CSc.
Ústav leteckého zdravotnictví
Generála Píky 1
160 41 Praha 6
e-mail: milos.sazel@seznam.cz

Do redakce došlo 21. 1. 2003
