

616-685.836[:546.21]

SOUČASNÝ STAV LÉČENÍ HYPERBARICKÝM KYSLÍKEM

MUDr. Vladimír DOLEŽAL, CSc.

Ústav leteckého zdravotnictví v Praze

(náčelník plk. MUDr. M. Haňka)

Hyperbarický kyslík se stal nepostradatelnou součástí moderních léčebných postupů v mnohých oborech lékařské vědy. Svědčí o tom velký počet nově postavených přetlakových komor v různých částech světa. Také mnohaleté zkušenosti některých významných pracovišť umožnily upřesnění indikací a vypracování pravidel pro bezpečnost práce v přetlaku.

Když Boerema se spolupracovníky začal v šedesátých letech provádět pokusy v přetlakové komoře s hyperbarickým kyslíkem, bylo hlavním cílem stanovit cenu a použitelnost této metody v chirurgii srdce. Myšlenka použít hyperbarický kyslík (dále HK) byla úzce spojena s myšlenkou hypotermie. Za účelem prodloužení doby nezbytné pro bezpečné provedení intrakardiální operace zavedl Boerema dýchání HK a tím dosáhl maximální saturace tkání kyslíkem před přerušením oběhu. V podmínkách HK je např. velmi snadná defibrilace srdce. Po manuální masáži srdce se zpravidla dostaví spontánní rytmus.

V roce 1971 provedl Meijne a Melling operace cyanotických srdečních vad u 58 dětí. Jako nejdůležitější pro tyto operace považují autoři zvýšený dílčí tlak kyslíku v arteriální krvi při 3 ata. Podle Guytona (1963) dochází při vysokém přívodu kyslíku ke tkáním k autoregulaci krevního oběhu v tom smyslu, že tkáně samy regulují svůj krevní oběh podle spotřeby kyslíku a v důsledku toho regulují krevní návrat ze systémového oběhu k srdci a řídí tak zároveň srdeční minutový objem. Z tohoto hlediska lze vysvětlit pokles srdečního minutového objemu u pokusných zvířat nebo lidí vystavených HK. Při nízkých hodnotách saturace kyslíkem dosáhne tenze kyslíku snadno kritické hodnoty, kdy hypoxie vede k poruchám srdeční činnosti zejména u nemocného srdce. Proto při operacích na srdci u cyanotických dětí je hlavní předností HK snížení rizika hypoxické bradykardie, fibrilace komor a zástavy srdce.

Bernhard a spol. (1966) použil HK při operacích kongenitálních srdečních vad u 28 dětí. Ventilace kyslíkem byla prováděna endotracheální kanylou při tlaku 3 a 3,6 ata po dobu 30 až 150 minut.

Iwa a spol. (1970) uvádí zkušenosti z operací 18 dětí z celkového počtu 324 operací v přetlakové komoře za 2 roky. Z 18 dětí bylo 8 mladších jednoho roku, 5 bylo jednoletých a 5 starších než jeden rok. Šlo o Fallotovu tetra-

logii, atrezii trikuspidálních chlopní, transpozice velkých cév, truncus arteriosus a stenózu a. pulmonalis. Během operací nedošlo k zástavě srdce ani k projevům hypoxie myokardu.

Na chirurgické klinice University v Nagoye se zabývají operacemi srdce od roku 1963. Hyperbarickým kyslíkem léčí srdeční poruchy včetně ischemických nemocí. Provádějí extrakorporální perfúze v podmínkách HK, stanoví bezpečnou dobu přerušení oběhu, studují vliv HK na uzavěr jedné pulonální artérie a základní postupy při chirurgickém léčení ischemické choroby srdeční, včetně vývoje umělého srdce pro pomoc při insuficientním srdci. Benhard (1966) uvádí zkušenosti ze 135 operací srdce, Meijne (1966) 18 operací. Oba autoři se shodují v tom, že operace na srdci v podmínkách HK vykazují významně menší počet úmrtí než za normálního barometrického tlaku.

Četné experimentální práce dokazují, že v podmínkách HK lze prodloužit bezpečnou dobu přerušení krevního oběhu, zejména při použití hypotermie (Richards a spol., 1963; Barclay a spol., 1964). Ze všech prací jednoznačně vyplývá značná bezpečnost operací a přežívání pokusných zvířat. Smith a spol. (1963) uvádějí jako bezpečnou dobu pro přerušení oběhu 30 minut v podmínkách 2 ata a při 27 °C tělesné teploty. Richards a spol. (1963) uvádějí dobu 64 minut při 3 ata a 29 °C. Během této doby lze provést přímý chirurgický zákrok v podmínkách HK pouze při přerušeném oběhu.

Úspěšné vyléčení 3 pacientů, u nichž při operaci na srdci vnikl vzduch do artérie, uvádí Winter a spol. (1970). Léčení spočívalo v okamžité kompresi na 6 ata a postupné dekompresi podle léčebných tabulek (US Navy Diving Manual) (1966) pro vážné příhody při potápění.

Velmi úspěšné byly např. četné operace srdce u cyanotických dětí provedených při tlaku 3 ata při dýchání kyslíku (Meijne, 1966). Bernhard (1968) používal kompresi jen tehdy, objevil-li se u dětí při operacích na srdci příznak těžké hypoxie, projevující se komorovou arytmií, hypotenzí nebo bradykardií. Ze 12 ope- rovaných dětí použil kompresi u 8 dětí. V žádném případě, kde bylo použito HK, nedošlo při operaci k úmrtí. Na EKG záznamu byl zaznamenán významný pokles nepravidelnosti.

Na základě dosavadních klinických studií a experimentálních prací se ukazuje, že hyperbarický kyslík při tlaku 3 ata je velmi význam-

ný stabilizátor a posilovač funkcí myokardu. Studie zahrnují zkušenosti získané z experimentálních transplantací srdce, operací na srdci u cyanotických dětí, při nízkém srdečním minutovém objemu po operacích na srdci, defibrilaci u zvířat (uměle vyvolanou fibrilaci) a těžkou fyzickou námahou u atletů. Navíc, změny na plicích, připisované donedávna toxickému účinku hyperbarického kyslíku, jsou, jak se ukázalo, způsobeny neadekvátními dýchacími exkurzemi, dehydratací a dalšími faktory.

Zájem o použití HK v kardiologii začal na základě pokusů provedených v experimentu na psech, u nichž byl vyvolán akutní infarkt myokardu a pak léčených kyslíkem při 1 až 3 ata. V těchto pokusech (Trapp a spol. 1964) byly prováděny u psů ligatury přední sestupné větve levé koronární artérie, pak byli léčeni 100% kyslíkem při 1 až 3 ata po dobu 6 hodin, potom byli utraceni. Byl-li podvaz proveden ve střední části tepny, pak rozsah infarktu u psů léčených kyslíkem při tlaku 3 ata byl o $\frac{2}{3}$ menší než při léčení kyslíkem při tlaku 1 ata. Byla-li ligatura provedena v horní třetině, pak rozsah infarktu byl při léčení kyslíkem při 3 ata o $\frac{1}{2}$ menší. Whalen a Saltzman (1968) ukázali, že HK snižuje úmrtnost na infarkt myokardu.

V jiných experimentálních pracích na psech (Podlesch a Herpfer 1970) byl potvrzen nález Meijneho a Strauba (1966), že v podmínkách HK klesá krevní oběh v koronárním řečišti. Současně s poklesem krevního oběhu klesá i spotřeba kyslíku. Dílčí tlak CO_2 se významně nemění. Ledingham a spol. (1970) našel pokles krevního průtoku v myokardu při tlaku 2 ata o 20 % a spotřeba O_2 klesla o 30 %. Smith a Lawson (1958) ukázali, že u psů, u nichž se po podvazu okružní větve levé koronární artérie objevila fibrilace, se pomocí HK této fibrilaci zabránilo. V souhrnné práci z roku 1962 dokázali, že komorovou fibrilaci lze aplikací HK snížit ze 60 na 10 %.

Cameron a spol. (1965) referovali o 40 pacientech s infarktem myokardu, z nichž polovina dostala kyslík maskou při 1 ata a polovina při 3 ata. Nemocní léčení HK vykazovali lepší výsledky. Ashfield a Gavey (1969) upozorňují na okamžité zlepšení stavu u pacientů s infarktem myokardu léčených v HK zejména v těchto ukazatelích: bolest ustoupí nebo vymizí, symptomy a projevy plicního edému zmizí, různé druhy arytmií se korigují a srdeční šok ustoupí. Z 12 pacientů, kteří byli v těžkém šoku a byli léčeni v HK, zemřeli 3. Celková úmrtnost na infarkt myokardu podle statistiky nemocnice ve Westminsteru v Londýně (Thurson 1970) klesala po zavedení terapie hyperbarickým kyslíkem od roku 1965 takto:

	1965	1966	1967	1968
mortalita	30 %	26 %	20 %	17 %

V této nemocnici se provádí léčení infarktů v koronárním centru, kde jsou umístěny 3 malé

přetlakové komory pro 1 pacienta (fy. Vickers), kromě tří dalších standardních postelí. Tato jednotka je vybavena resuscitačními přístroji a všech 6 postelí je obsluhováno stejnými lékaři a sestrami. Nemocní, kteří přicházejí do tohoto centra s dg. akutní infarkt myokardu, jsou posuzováni z těchto hledisek:

1. jasný průkaz infarktu myokardu,
2. ataka nastala v posledních 24 hodinách,
3. pacient je mladší 70 let,
4. není kontraindikací pro léčení HK.

Diagnóza se opírá o stanovení transamináz v krvi a EKG změn podle definice Světové zdravotnické organizace (1959). Pacient přijatý do koronární jednotky je určen buď pro léčení v přetlakové komoře, nebo je léčen v kontrolní skupině standardní terapií. Pacient v komoře dostává nejméně 48 hodin 6 l kyslíku/min. maskou. Terapie v tlaku trvá 2 hodiny při 3 ata, pak je pacient jednu hodinu při normálním barometrickém tlaku při dýchání vzduchu a dále 2 hodiny v přetlaku v průběhu prvních 24 hodin. Komprese na 2 ata trvá 10 minut a 10 minut trvá dekomprese. Kromě HK pacient dostává i standardní terapii. Tímto způsobem bylo v posledních dvou letech léčeno 57 pacientů. Z klinického hlediska se ukazuje, že HK zabraňuje vzniku smrtelného kardiogenního šoku.

Při vzniku plicního edému, kdy dílčí tlak kyslíku v arteriální krvi klesá na 30 mm Hg a méně, je myokard silně hypoxický. Jelikož HK difunduje edémovou tekutinou a stoupá přímo úměrně se stoupajícím tlakem v okolním prostředí, koriguje tak hypoxii v myokardu. Hyperbarický kyslík dále ovlivňuje příznivě plicní edém tím, že ovlivňuje cirkulaci v ledvinách. Nedostatečný krevní oběh v ledvinách vede k retenci sodíku a tím narůstání extravaskulární tekutiny. Levin (1970) léčil 30 pacientů s těžkým plicním edémem v HK. V této skupině byli jen ti pacienti, u nichž se edémová tekutina objevila i v trachee, a mnozí expektorovali krvavé sputum. 27 bylo srdečního nebo centrálního původu. U 26 pacientů byl zaznamenán trvale zlepšený stav, u ostatních se stav nezměnil.

Regenerace kůže

Poranění kůže např. po chirurgickém zákroku se hojí primárně migrací buněk z kůže kolem okraje rány a řezné plochy vlasových folikulů a ductů potních žláz. Nová kůže se tvoří jako pomalý proces začínající kolem vlasových folikulů. Doba nezbytná pro kompletní pokrytí rány epidermis závisí primárně na rychlosti, se kterou se buňky pohybují, a na vzdálenosti mezi buňkami. Bylo zjištěno, že v řezných plochách kůže mladých prasat má 90 % nové epidermis původ ve vlasových folikulech a v ductech apokrinálních žláz. Vlasové folikuly jsou od sebe vzdáleny asi 2 mm, buňky epider-

máliní vrstvy migrující ze sousedních folikulů putují asi do vzdálenosti 1 mm, nežli se setkají a spojí. Úplné epitelizace je dosaženo asi za 6 dnů, není-li kůže pokryta oděvem a je-li suchá. Epidermální buňka tedy putuje dosti pomalu — asi 7 μ m/hod. Tento proces lze urychlit vhodně upraveným prostředím. Např. migrace se urychlí 3krát (asi 21 μ m/hod.), je-li rána pokryta tenkým filmem z polyetylénu, který zabraňuje tvorbě suché rohoviny (Winter 1962).

Přerušovaná expozice kyslíku při tlaku 2 ata urychluje regeneraci epitelu na ranách o 30 %. Tento jev lze vyložit tak, že kyslík je nezbytný pro pohyb buněk a mitózu (Medawar 1948) a spotřeba kyslíku v kůži stoupá při vzestupu tenze kyslíku (Bullough 1951). Tenze kyslíku v okolí migrujících epidermálních buněk může stoupnout difúzí skrze rohovou vrstvu nebo skrze polyetylénový film propustný pro kyslík. Kyslík se dále přivádí do regenerující se kůže krví a tkáňovou tekutinou zejména při tlaku 3 ata a více.

Úspěch transplantace kůže na spálených ranách a v plastické chirurgii závisí na revaskulizaci transplantátu. Perrins (1970) uvádí velmi dobré výsledky při aplikaci kyslíku při tlaku 3 ata, jelikož dostatečný přívod kyslíku je nezbytný pro metabolismus v hojící se ráně a produkci energie. Kyslík je spotřebováván v granulační tkáni, zejména pro produkci energie ve formě ATP, která je nezbytná pro syntézu bílkovin (Hunt a Zederfelt 1967), pro hydroxilaci bílkovin a aminokyselin, které tvoří 25 % řetězce kolagenních molekul (Undenfriend 1966) a pro proliferaci buněk, které bez kyslíku neproliferují v tkáňových kulturách a ranných plochách zvířat vystavených nízkému barometrickému tlaku a regenerace epidermis neprobíhá (Ulkina 1964; Chvapil 1968).

Hunt a spol. (1967) ukázali, že vzdálenost, do které může fibroblast migrovat z nejbližší kapiláry, je závislá na tenzi kyslíku v extracelulárním prostoru. Bylo-li v prostředí méně než 10 mm Hg kyslíku, pak se buňky přestaly dělit, syntetizovat kolagén nebo migrovat.

Fibroblasty kolem kapiláry jsou v prostředí s vysokou tenzí kyslíku. Jelikož tyto buňky produkují kolagen, nové kapiláry prorůstají do fibrózní hmoty rychleji, a jelikož každá nová kapilára obnovuje cirkulaci, stoupá tenze kyslíku stále do větší vzdálenosti. Tyto buňky se mohou pak reprodukovat a migrovat dále do tkáňového defektu. Stupeň granulace tedy závisí na krevním zásobení a na tenzi kyslíku. Je proto možné, že HK urychluje tímto způsobem hojení.

Hyperbarický kyslík urychluje tkáňovou regeneraci také tím, že působí bakteriostaticky, podporuje hojení popálenin, které jsou doprovázeny poruchou krevního zásobení. Ikeda a spol. (1970) uvádí příklad léčení 445 popálených, z nichž 43 bylo popálenin 2. a 3. stup-

ně. Hyperbarický kyslík byl aplikován 1krát až 2krát denně po dobu 5—10 dnů. Všichni popálení pacienti měli zasaženo více než 50 % tělesného povrchu. U deseti ze 43 popálených došlo k úrazu při výbuchu důlních plynů, spojených s otravou CO a s těžkými popáleninami zasahujícími téměř 100 % tělesného povrchu. Šest z nich zemřelo, avšak žádný z léčených v HK neměl sepsi.

Úspěšné léčení popálenin zaznamenal také Iwa a spol. (1966), DeJode a spol. (1965). Hart (1970) uvádí příklad 12 popálených pacientů, kteří měli zasaženo 40 % tělesného povrchu. Při léčení HK se ukázalo, že bylo zapotřebí významně méně tekutin a koloidů ve srovnání s léčením klasickým způsobem.

Hyperbarický kyslík má při léčení popálenin a obecně při regeneraci kůže tento význam:

1. Popálená nebo poraněná tkáň je na ranných plochách avaskulární a tudíž trpí hypoxií. HK tuto hypoxii eliminuje.
2. Na základě studií in vivo i in vitro se ukázalo, že HK má bakteriostatický a bakteriocidní účinek (Ketchum a spol. 1970, Bullough a spol. 1967, McAllister a spol. 1963), a tím umožňuje hojení per primam.
3. HK podporuje prorůstání kapilár do granulační tkáně a tím rychlejší hojení rány.

Léčení anaerobních infekcí

Boerema a Groeneveld (1970) popisují léčení 118 pacientů s plynatou snětí hyperbarickým kyslíkem. Devadesátčtyři přežilo díky aplikaci HK. Všichni pacienti obdrželi před tím antibiotika bez úspěchu. Osmnáct bylo léčeno pouze v HK s dobrým výsledkem. Všichni byli v komoře nejméně 5krát a ve všech případech byla klostridiální infekce vyléčena. Tito pacienti byli převezeni do nemocnice ve velmi těžkém stavu. Dvanáct pacientů zemřelo po absolvování 5 sezení v HK; při pitvě však nebyla nalezena žádná klostridia. Příčinou pozdních úmrtí byly zpravidla následky primárních traum, např. dopravních nebo primárního onemocnění (např. arterioskleróza). U žádného pacienta z tohoto souboru 118 osob nebyla prováděna excize, amputace nebo exartikulace. Pouze u některých pacientů byla po několika týdnech po vyléčení klostridiální infekce provedena amputace ve velmi omezeném rozsahu. Pacienti s plynatou snětí, kteří jsou schopni přežít 5 sezení v HK, mají 100% dobrou prognózu jak pro přežití, tak i pro záchranu velké části končetin nebo i celých končetin.

Program léčení HK plynaté snětí podle Boeremy a spol. je: revize rány, odstranění tkáně, sutury, odebrání krve pro průkaz anaerobní a aerobní infekce, označení tkáně, kde se nalézá podkožní plyn, změna barvy kůže, odebrání vzorku krve na Hb, ery, močovina, HCO₃, atd. infúze a transfúze, aplikace 1 gr chloralhydrátu do rekta (před prvním sezením), myringotomie a nakonec aplikace HK v pomto pořadí:

- | | |
|---------------------------|-----------|
| 1. den 3 sezení při 3 ata | 2 hodiny |
| 2. den 2 sezení při 3 ata | 2 hodiny |
| 3. den 2 sezení při 3 ata | 2 hodiny. |

Podle zkušeností holandských pracovníků nejpozději po 7 sezeních všechny anaeroby z organismu vymizí.

Slack a spol. (1969) používá místo 3 ata 2,5 ata. Používá však malé přetlakové komory pro 1 pacienta, která se plní čistým kyslíkem. Velké komory se z bezpečnostních důvodů plní tlakovým vzduchem a pacienti dýchají kyslík maskou. Slack referuje o 49 pacientech s primární diagnózou plynaté sněti, léčených v malé přetlakové komoře pro jednoho pacienta. Před vlastním léčením v HK obdrží pacient velké dávky antibiotik a pak je umístěn do malé přetlakové komory. Komora se pak plní kyslíkem na tlak 2,5 ata na dobu 2 hodiny. Po 2–4 hodinovém léčení v HK se již pozná, které tkáně jsou odumřelé a určené pro excizi. Po chirurgickém zákroku se pokračuje v léčení do celkové doby 12 hodin během prvního dne.

Hitchcock a spol. (1970) referuje o 67 pacientech léčených pro klostridiální infekci v průběhu 5 let. 53 pacientů bylo léčeno HK při tlaku 3 ata. Ve skupině 40 pacientů, u nichž byla zjištěna těžká difúzní myositis s projevem systémové toxicity klostridiální infekce, bylo 85 % plně vyléčeno.

McAllister a spol. (1963), Fredette (1965), Hopkinson a Towers (1963), Haugaard (1965) zjistili, že HK působí na *Clostridium perfringens* významně bakteriostaticky, zatímco Nuckolls a Osterhout (1964), Hill a Osterhout (1970), Kaye (1967) zjistili, že HK má účinky bakteriocidní. Irvin a spol. (1968) tyto nálezy nepotvrdili. Brummelkamp (1965) a van Unnik (1965) ukázali, že HK při tlaku 1,5 ata po 2 hodinách klostridia nezabíjí ani nesnižuje produkci toxinů. Tento efekt se projevuje až při 3 ata, kdy se zastavuje klíčení spór (Demello a spol. 1970) a inhibuje růst bakterií v kulturách, a to nejen anaerobů, ale i četných aerobních mikroorganismů.

Podle statistiky Světové zdravotnické organizace se méně než 50 % pacientů s anaerobní infekcí vyléčí bez aplikace kyslíku. Přesto na některých pracovištích (Wilhelmina nemocnice, USA a jinde) léčí všechny anaerobní infekce v HK, i když je předpoklad, že pacient má jen lehkou formu cellulitis, tedy pacienti, kteří nejsou velmi nemocní, nejsou komatózní, nemají žloutenku, mají malé zvýšení teploty a dobrý puls. Léčení každého podezřelého případu má své opodstatnění, protože i malá cellulitis vede velmi často k rozsáhlé nekróze kůže. Proto je důležité zastavit infekci co možná nejdříve.

Hyperbarický kyslík a cévní poruchy

Holbach a Gött (1970) referovali o 42 pacientech léčených od r. 1967 v HK s těžkým mozkovým traumatem nebo cerebrovaskulár-

ním onemocněním kombinovaným mozkovým edémem, komatózním stavem a výraznými neurovegetativními poruchami respiračními, srdečně-cévními a poruchami termoregulace v důsledku komprese nebo cirkulační dysfunkce mozkového kmene, zpravidla jako následek primární mozkové léze. Tyto sekundární afekce mozkového kmene vedou k dalším poruchám mozku. Vzniklý *circulus vitiosus* lze jen velmi těžko léčebně přerušit. Autoři proto použili HK při tlaku 2–3 ata na dobu 30–60 minut. U všech pacientů léčených v HK nastalo významné zlepšení stavu. Jacobson (1970) vykládá příznivý efekt HK tak, že 1. oblasti anoxické, které vznikly jako důsledek zranění, se mohou regenerovat přívodem vysoké tenze kyslíku. 2. Kyslík působí vazokonstrikci v těch oblastech, kde nedošlo k poklesu kyslíkového zásobení. To do jisté míry přerušuje tvorbu edému. Takovým způsobem je *circulus vitiosus*, kdy anoxie způsobuje edém a edém dále zhoršuje anoxii, přerušen. Již za 30–45 minut po aplikaci HK lze pozorovat dramatické zlepšení. Aplikaci HK lze provádět podle potřeby 2 až 4krát denně. Po aplikaci HK nastane okamžitý pokles tlaku cerebrospinálního moku, což lze vysvětlit jedinečně vazokonstrikčním mechanismem.

HK odstraňuje mozkovou hypoxii, normalizuje buněčný metabolismus a tak restauruje všechny mozkové funkce.

Sukoff a spol. (1968) a Coe a spol. (1966) referovali o tom, že aplikace HK významně snižuje mortalitu zvířat po experimentálně navozených mozkových lézích. Miller a Ledingham (1970) v pokusech na 18 dospělých psech studovali vliv HK na vzestup intrakraniálního tlaku po experimentálně navozeném mozkovém edému. *Intrakraniální tlak byl zvýšen postupnou insuflací vzduchu do extradurálního vaku.* U jiných zvířat byl nitrolební tlak zvyšován aplikací dusíku do intaktní dury za vzniku edematózních hemorrahagických lézí. Zvířatům byl aplikován kyslík při 2 ata. U všech zvířat nitrolební tlak v důsledku kyslíkové vazokonstrikce významně klesl.

Při léčení arteriálních poruch v důsledku patologického uzávěru se velmi příznivě uplatňuje HK, jak o tom referuje Illingworth (1962), avšak v jiných pracech poukazuje na to, že v podmínkách HK dochází k poklesu krevního průtoku končetinami. Vazokonstrikce se však neobjevuje v ischemické končetině, a naopak zvýšený PO_2 , jakož i obsah O_2 snižují ischemii. Kidoroko a spol. (1970) uvádějí jednak pokusy na zvířatech v nichž studovali histochemicky cytochromoxidázy a suksinodehydrogenázy u experimentálně vyvolaných uzávěrů arteria femoralis u zvířat. V klinické studii uvádějí zkušenosti s léčením tromboangiitis obliterans s vředem (11 nemocných), tromboangiitis obliterans s gangrénou (5 pacientů), arteriosclerosis obliterans s vředem (3 pacienti), embolie iliace sin. (1 pacient). U všech byla provádě-

na terapie HK při tlaku 3 a 2 ata po dobu několika týdnů s nejčastější expozicí 70krát. Všichni pacienti po expozici HK pocítili úlevu, bolest přestala a po několika expozicích vymizela trvale a končetiny byly teplé. Hojení vlhkých gangrén a ulcerací se urychlilo a granulace uspíšila hojivé procesy.

Hyperbarický kyslík a radioterapie

Gray (1953) demonstroval na zvířatech, že existuje vztah mezi citlivostí všech živých buněk k poškození x-paprsky a koncentrací kyslíku kolem nich během ozáření. Radiobiologický výzkum potvrdil původní Grayovu hypotézu o přímém vztahu, který existuje mezi koncentrací kyslíku ve tkáni a její citlivostí k ozáření.

Faust a spol. (1970) uvádí přehled o léčení více než 1000 pacientů v posledních 15 letech HK a současným ozářením. Šlo o karcinomy III. a IV. stupně. Léčení se provádělo v přetlakové komoře fy. Vickers. Aplikovaný tlak byl 3 ata, pacient dýchal 100% kyslík při tomto tlaku po dobu 15 minut před aplikací ozáření. Jako zdroje ozáření bylo použito 6 miliónvoltového lineárního urychlovače (Varian). Vzdálenost zářiče od cílové kůže byla 100 cm. Denní dávka ozáření činila 250 rad. Za týden pacient obdržel 100 rad. Během 5 týdnů dostali pacienti po 5000 rad.

Jiní pracovníci (Sanger 1955, 1959; Churchill-Davidson a spol. 1957) používají kyslíku při tlaku 1–4 ata. Finney a spol. (1961) použili Müllerovu a Clarkovu metodu regionální insuflace kyslíku do nádorového prostoru pomocí intraarteriálního katetru a roztoku peroxidu vodíku.

Chronické plicní nemoci

Do této skupiny patří velké procento starších lidí, kteří trpí obstrukčními chorobami plic často kombinovanými s onemocněním cévního systému. Levine (1970) léčil hyperbarickým kyslíkem skupinu takovýchto pacientů při tlaku 3 a 4 ata. Celková doba léčení včetně komprese a dekomprese činila 2–3 hod. při izokompresi 60–90 minut. Všichni pacienti měli těžkou plicní obstrukční chorobu, chronickou hypoxémií a hyperkapnií. Mnozí se cítili po léčení HK velmi dobře a vykazovali definitivní zlepšení, které přetrvávalo.

Jacobson a spol. (1970) léčil děti, které měly hyalinní membrány v plicích a jiné plicní anomálie. Cyanotické děti byly vystaveny tlaku 3 až 4 ata a kyslík jim byl aplikován endotracheální kanylou. Nastalo okamžité zlepšení a vymizení cyanózy. Avšak po několika hodinách po léčení byl pacient opět anoxický. To se opakovalo vždycky při vzestupu a poklesu tlaku. Proto, jestliže všechny klasické metody léčení respirační insuficience byly vyčerpány, používají autoři hyperbarický kyslík. Při dlouhodobé terapii chronických cyanotických dětských pacientů se používá takového tlaku kyslíku, aby

se arteriální tenze kyslíku pohybovala v rozmezí 70 až 80 mm Hg, při které dochází k 90% saturaci krve kyslíkem. Technika léčení spočívá v tom, že po kompresi např. na 2–3 ata se zavede intraarteriální katetr pro stanovení krevních plynů. Podle parciální tenze kyslíku a kysličníku uhličitého v arteriální krvi se řídí jednak použitý tlak, jednak doba expozice kyslíku. Po dosažení uspokojivé minimální saturace kyslíkem se tlak komory udržuje na stálé hodnotě. V hodinových intervalech se tlak v komoře mění podle tlaku krevních plynů a vzezření pacienta. Takovýmto způsobem lze aplikovat tlak pro nezbytnou dobu. Při použití 2 ata lze tlak aplikovat dlouhou dobu bez dekomprese, což má značné výhody. Autoři uvádějí přehled 26 pacientů, kteří byli léčeni hyperbarickým kyslíkem. Zlepšení následovalo po 1–3 dnech léčení. Autoři doporučují, aby pacienti s těžkou plicní insuficiencí byli léčeni v HK jedině tehdy, jestliže ostatní léčení je neúčinné.

HK a vliv na paměť ve stáří

Jedna z mnohých změn, které doprovázejí stáří, je snížená funkce mozku. Procesy zahrnují pokles informační kapacity; vybavovací a koncentrační výkonnost patří mezi ty funkce, které jsou ve stáří nejvíce ovlivněny. Existuje vysoká korelace mezi věkem a úbytkem krátkodobé paměti (Caird 1961, Inglis 1963).

Hayes (1953), Thompson (1957) a jiní uvádějí, že existuje přímý vztah mezi tenzí kyslíku a kognitivní funkcí mozku, jak ukázali na chování pokusných zvířat ve výškové hypoxii nebo v hypoxii mozku vyvolané podvazem karotid. Je tedy jasné, že existuje vztah mezi kyslíkovou zásobou mozkové tkáně a její poznávací funkcí. Z toho tedy plyne, že vzestup saturace mozkové tkáně kyslíkem může zlepšit kognitivní funkci senilních osob (Jacobs a spol. 1970).

Jelikož zásobením mozkové tkáně kyslíkem je závislé na krevním průtoku, obsahu kyslíku v arteriální krvi a mezikapilární vzdálenosti, je zřejmé, že každá podmínka, která nepříznivě ovlivní tyto faktory, může měnit kognitivní funkce, paměťovou kapacitu posledních událostí a výkonnost vybavovací aktivity. U zdravých mladých lidí je mozkový krevní průtok zajišťován autoregulačním mechanismem, který chrání mozkovou kůru před nedostatkem kyslíku. Je důvod se domnívat, že v důsledku věku, kdy se objevuje arterioskleróza a stoupá mezikapilární vzdálenost, je tento kompenzační mechanismus neadekvátní. Takovýmto způsobem dochází k chronickému nedostatku kyslíku v mozkové tkáni.

Pokusy Jacobse a spol. (1970) ukazují, že stoupající tenze kyslíku v arteriální krvi ovlivněná HK zvyšuje výkonnost kognitivní funkce u starších lidí se symptomy senility. Kontrolní osoby vystavené stejným pokusným podmínkám a dýchající kyslík nevykazují zlepšení.

Zkušenosti s pacienty trpícími chronickou hypoxií ukazují, že jejich reakce byly téměř stejné jako u senilních osob, tj. snížení paměti, předrážděnost a změny osobnosti. Byla-li hypoxie odstraněna, zlepšila se rovněž paměť těchto pacientů. Nešlo tedy o osoby senilní, nýbrž o pacienty s chronickou bronchitidou a emfyzémem, kteří byli v chronické hypoxii. Po léčení v HK se zlepšila paměť, snížila se předrážděnost a zlepšil celkový stav. Pacienti byli léčeni při 3 ata 2 hod. každý den po dobu 15 dnů.

Pro definitivní upřesnění a ujasnění indikací a možností léčení HK stojí v cestě toxicita kyslíku.

Otrava kyslíkem závisí na jeho parciálním tlaku. Proto k otravě může dojít nejen při dýchání čistého kyslíku, ale i při dýchání směsi dusík-kyslík nebo helium-kyslík. Projevy otravy kyslíkem při vyšším tlaku kyslíku nelze přesně určit. K otravě HK, která se projevuje křečemi, dochází zpravidla při expozici vyšší než 2 ata. Čím je vdechovaný dílčí tlak kyslíku vyšší, tím kratší je bezpečná doba expozice kyslíkem. Zdraví lidé nalézající se v klidu a v suché přetlakové komoře mohou dýchat čistý kyslík bez obtíží 2 hodiny při tlaku 3 ata (=2280 mm Hg). Avšak při fyzickém zatížení klesá tato bezpečná doba na 10–15 minut. Citlivost k HK je značně individuální. Někteří lidé snášejí značně dlouhou dobu dýchání kyslíku lépe než jiní a mimo to i individuální tolerance ke kyslíku se mění ze dne na den. Proto se provádí např. u potápěčů kyslíkový toleranční test při tlaku 3 ata na dobu 30 minut, aby se odhalili lidé, kteří jsou ke kyslíku zvláště citliví. Citlivost ke kyslíku ovlivňuje celá řada faktorů, jako např. CO₂, teplota apod. Podrobnější rozbor těchto vlivů však přesahuje rámec tohoto sdělení. Symptomy otravy kyslíkem byly popsány ve Voj. zdravotnických listech č. 1, 1972. Před vznikem křečí při expozici HK se dostávají ve většině případů prodromální symptomy. Proto jejich včasným rozpoznáním lze kyslíkovým křečím předejít. Nejčastější příznaky jsou: svalové záškuby v obličejovém svalstvu nebo i jiných svalových skupin, nausea, svědění, zrakové a sluchové abnormality, např. zúžení zorného pole, dechové potíže (náhlý pocit dušnosti bez objektivních příčin, inspirační potíže), strach, neobvyklý pocit únavy a jiné.

Dostaví-li se některý z těchto příznaků, zejména svalové záškuby v přetlakové komoře v klidu, pak je to zpravidla bezpečnou znám-

kou blížící se otravy HK. V těchto případech se doporučuje přerušit dýchání kyslíku na několik minut. Dostaví-li se kyslíkové křeče, osoba ztratí vědomí a mozková tkáň vysílá nekontrolovatelné a neorganizované salvy nervových impulsů ke svalům. Na vrcholu křečí jsou stimulovány všechny svaly najednou, takže dojde k ztuhnutí celého těla. Mozek se brzy unaví a počet impulsů klesne. V této fázi připomíná otrava HK epileptický záchvat. Toto období trvá asi 1 min. Někdy dojde k bezděčné mikci a defekaci. Po této křečové fázi se dostaví deprese, pacient je stále v bezvědomí a je klidný. Tato fáze trvá asi 10–15 minut, avšak může trvat 1 hodinu i déle. Během konvulzivní fáze může dojít k fyzickému poranění postiženého o tvrdé předměty. Velmi vzácně může dojít k pokousání jazyka. V případě, že pacient dýchá po vzniku křečí dále kyslík, křeče po několika minutách zmizí a nastane fáze klidu. V každém případě je nutné dílčí tlak kyslíku snížit nebo přerušit a nechat dýchat vzduch.

V tomto krátkém sdělení není možné vyjmenovat a rozebrat zkušenosti všech významných pracovišť zabývajících se léčením HK. I naše zkušenosti (4. konference o léčení hyperbarickým kyslíkem) ukazují nepostradatelnost této léčebné metody v mnohých klinických stavech.

Léčení HK má značný indikační rozsah, je však stále ve vývoji a jeho mnohostranné možnosti nebyly ještě vyčerpány. Použití HK při léčení otrav CO a jinými plyny a toxickými látkami, plynových gangrén, zranění všeho druhu, v plastické chirurgii, dále léčení popálenin, omrzlin a šokových stavů je pro vojenské lékařství velice významné.

Závěr

V práci je podán přehled o použití hyperbarického kyslíku v některých klinických oborech, jako např. v kardiologii, při operacích srdečních malformací, při léčení ischemie myokardu, regeneraci kůže po operacích, transplantacích kůže po popáleninách, při léčení anaerobních infekcí, cévních poruch, radioterapii a při léčení chronické hypoxie mozku ve stáří, tak jak to vyplynulo především z referátů na 4. mezinárodním kongresu o hyperbarickém kyslíku v Sapporu v r. 1969. Přehled četných dalších indikací hyperbarického kyslíku bude předmětem jiné práce.

Literatura u autora