

612.261-087

MĚŘENÍ HODNOT KYSLÍKU VE TKÁNÍCH TĚLA

MUDr. M. NEŠPŮREK, Ing. M. DVOŘÁK, Ing. R. KUBÁK

Chirurgické oddělení vojenské nemocnice v Brně (náčelník plk. MUDr. Miroslav NEŠPŮREK, CSc.)

Katedra lékařské elektroniky FE VUT v Brně (vedoucí doc. Ing. V. VRÁNA, CSc.)

U vážných poruch zdraví měříme řadu fyziologických funkcí. Dokonalost představy o funkci organismu závisí na vhodném výběru měřených funkcí a na přesnosti naměřených hodnot.

I když je v současné době ještě mnoho nejasného, například v otázkách buněčného metabolismu, v otázkách stanovení cirkulujícího objemu krevního, v otázkách iontových a vodních změn v nitrobuněčné a mimobuněčné tekutině a podobně, přece jen lékařská praxe vyžaduje, abychom poznali, zda se celkový stav nemocného zhoršuje anebo zlepšuje. Sledování dynamiky choroby (sledování po časové ose) je jednou z nejstarších a nejvýznamnějších metodik práce lékařů.

Zbývá otázka, co je nutné sledovat. Jestli v dřívějších desetiletích k tomu stačilo sledování krevního tlaku, frekvence a kvality pulsů, frekvence a kvality dechů, pak vždy významným byl celkový aspekt na nemocného a hledání lokálních příznaků. Zkušenost lékařů hrála vždy významnou roli.

Celá lidská činnost odpovídá základním lidským kvalitám, tedy i fyziologickým kvalitám smyslů lékaře a jeho schopnosti analyzovat a usuzovat. Z těchto důvodů se snažíme svoje smyslové vnímání zpřesňovat různými nástroji a přístroji, pro analýzu žádáme více hlubších poznatků biochemických, hemodynamických apod. V současné době chceme mít aspoň před-

stavu jak o funkci srdce a plic, tak o funkci ledvin a jater.

Protože jednotlivé hemodynamické a biochemické hodnoty nás nepoučí přesně, zajímáme se o globální hodnoty, informují nás o výše uvedených orgánech. Dřívější hodnoty krevního tlaku a pulsů doplňujeme hodnotami centrálního žilního tlaku, měříme arteriální průtok, snažíme se o měření cirkulujícího volumu krevního, případně o další hodnoty. Přesto však ne vždy docházíme k přesným závěrům. Podobně je tomu se stanovením ledvinové a jaterní funkce a funkce plicní. Dokážeme změřit parciální tlak kyslíku a kyslíčnicku uhličitého v krvi, z krve měříme pH, ale stále ještě nevíme, jaká je úroveň oxygenace tkání.

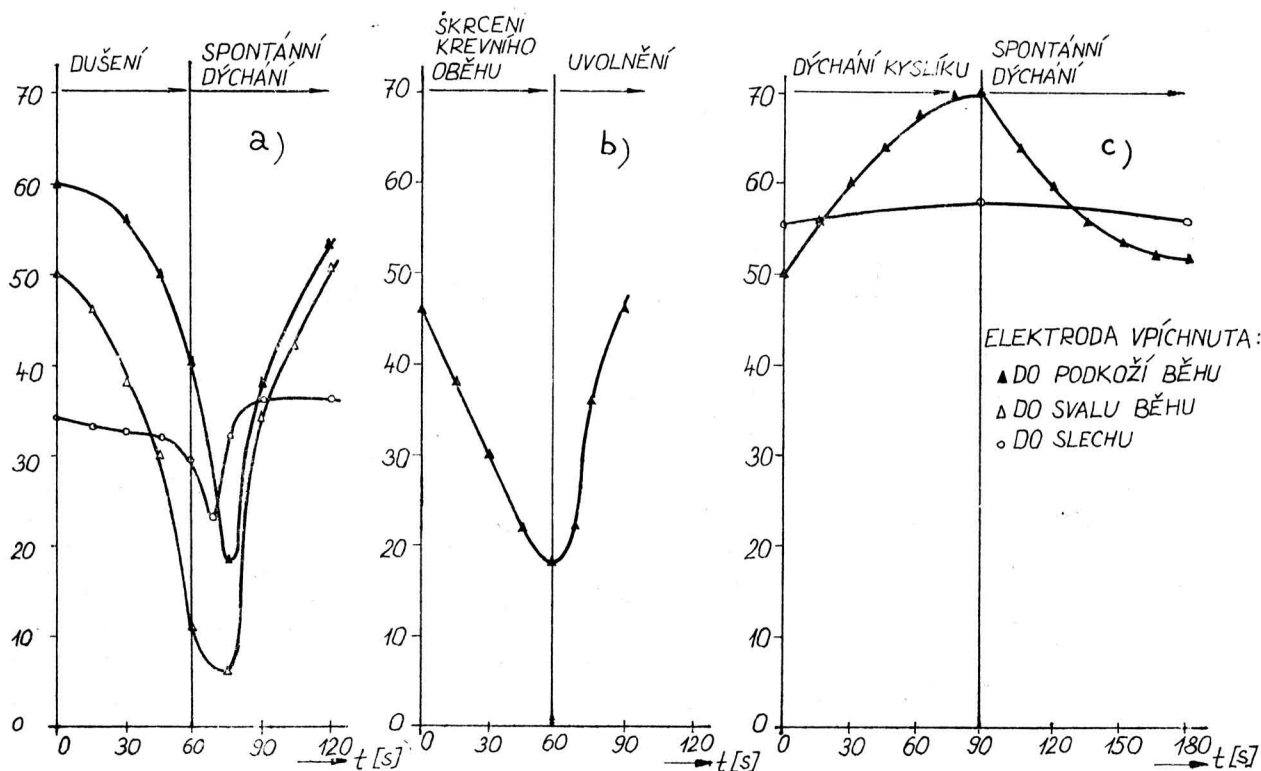
Oxygenace hemoglobinu je jednou z nejzajímavějších biologických funkcí. Není smyslem této práce zabývat se teorií vazby kyslíku na hemoglobin, a proto odkazujeme na literaturu [1]. Jako zajímavost z citované literatury uvádíme několik poznatků:

- Je možné, že in vivo oxygenace závisí spíše na vnitrobuněčném redox-potenciálu než na parciálním tlaku kyslíku.
- Kyslík je jedním z nejenergičtějších akceptorů elektronů v přírodě.
- Pro studium vztahu struktury a funkce u hemoglobinu jsou důležité zejména tři charakteristiky: afinita ke kyslíku, tvar vazební křivky a závislost vazby na pH.
- Savčí myoglobiny mají vysokou afinitu ke kyslíku. Naproti tomu lidský myoglobin A se vyznačuje nízkou afinitou ke kyslíku.

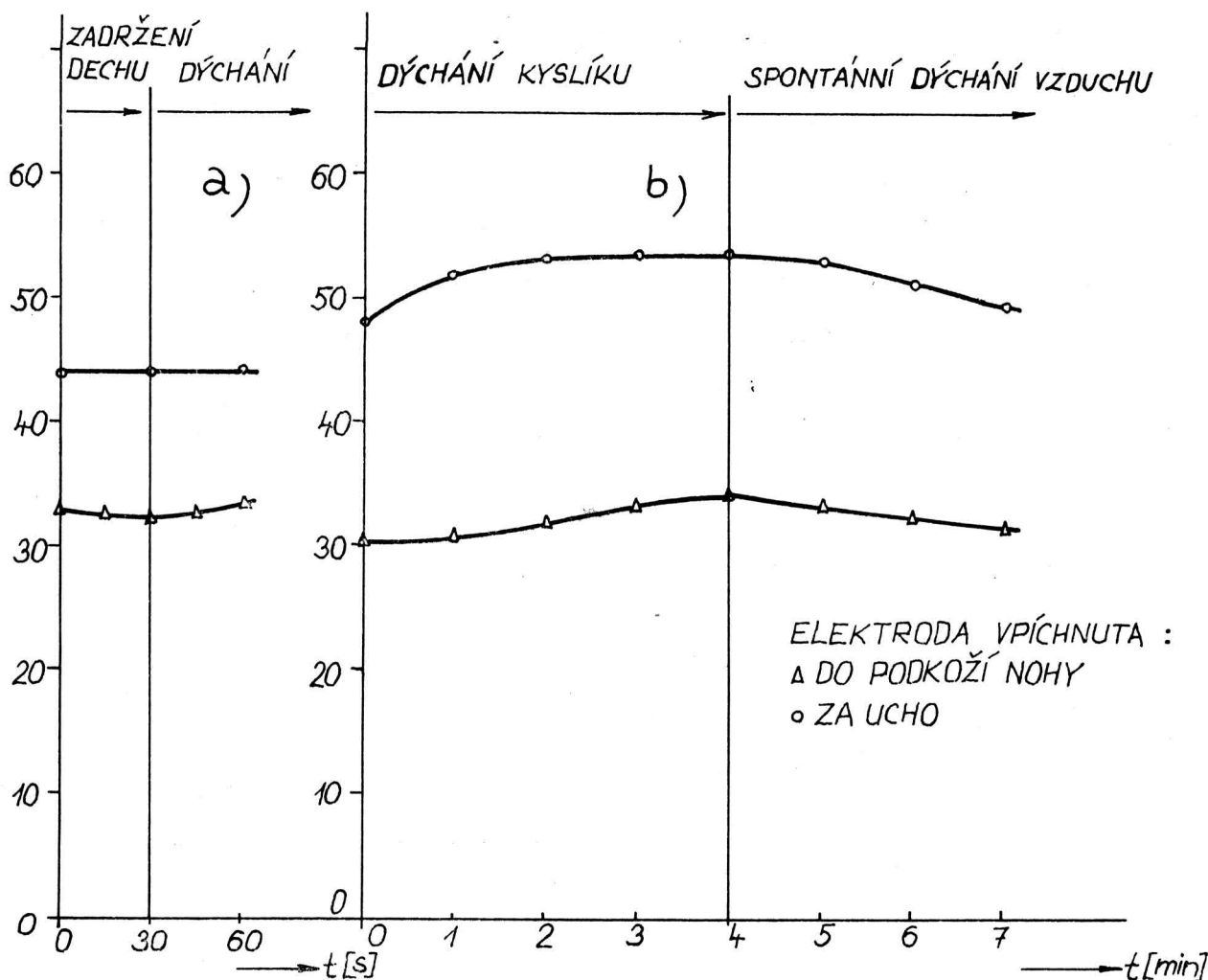
Stupeň oxygenace tkáně lze měřit tkáňovým oxymetrem. V této práci jsou popisovány výsledky získané měřením miniaturním tkáňovým oxymetrem Chirana, obor. č. 397 728 134. Veličinou, která udává stupeň oxygenace tkáně, je parciální tlak kyslíku ve tkáni (pO_2).

Na rozdíl od některých zahraničních oxymetrů, které pracují s mikroelektrodami zanášejícími do měření určitou chybu danou závislostí měřené hodnoty pO_2 na vzdálenosti hrotu mikroelektrody od arteriálního nebo žilního konce tkáňové kapiláry, byla při našem měření použita velkoplochá vpichová elektroda s povrchem cca 10 mm². Po zabodnutí do tkáně se v okolí elektrody vytvoří ranný kanál, vyplněný extracelulární tekutinou. V tekutině okolo elektrody dojde díky velké styčné ploše ke „zprůměrnění“ hodnoty tenze kyslíku a je ji možno reprodukovatelně měřit bez ohledu na polohu elektrody vzhledem k mikroskopické kapilární síti.

Poněvadž měřicím polarizačním okruhem protéká proud s maximální proudovou hustotou 10⁻⁵A/cm², nedochází k příliš velikému odčerpávání kyslíku elektrodou a tudíž k rušivému poklesu tenze kyslíku v extracelulární tekutině ani při dlouhodobém nepřetržitém měření, a nemůže tedy být simulována tkáňová hypoxie [2]. Údaj měřidla neudává přímo hodnotu pO_2 , neboť závislost mezi skutečným pO_2 v tkáni a údajem měřidla není lineární. Pro nízká pO_2 do 20 mm Hg je sice závislost lineární, od této hodnoty však přechází v závislost logaritmickou. Vazebnost kyslíku v rozličných tělních te-



Obr. 1. Měření parciálního tlaku kyslíku v tkáních králíka při
 a) jeho dušení b) škrcení krevního oběhu c) dýchání kyslíku

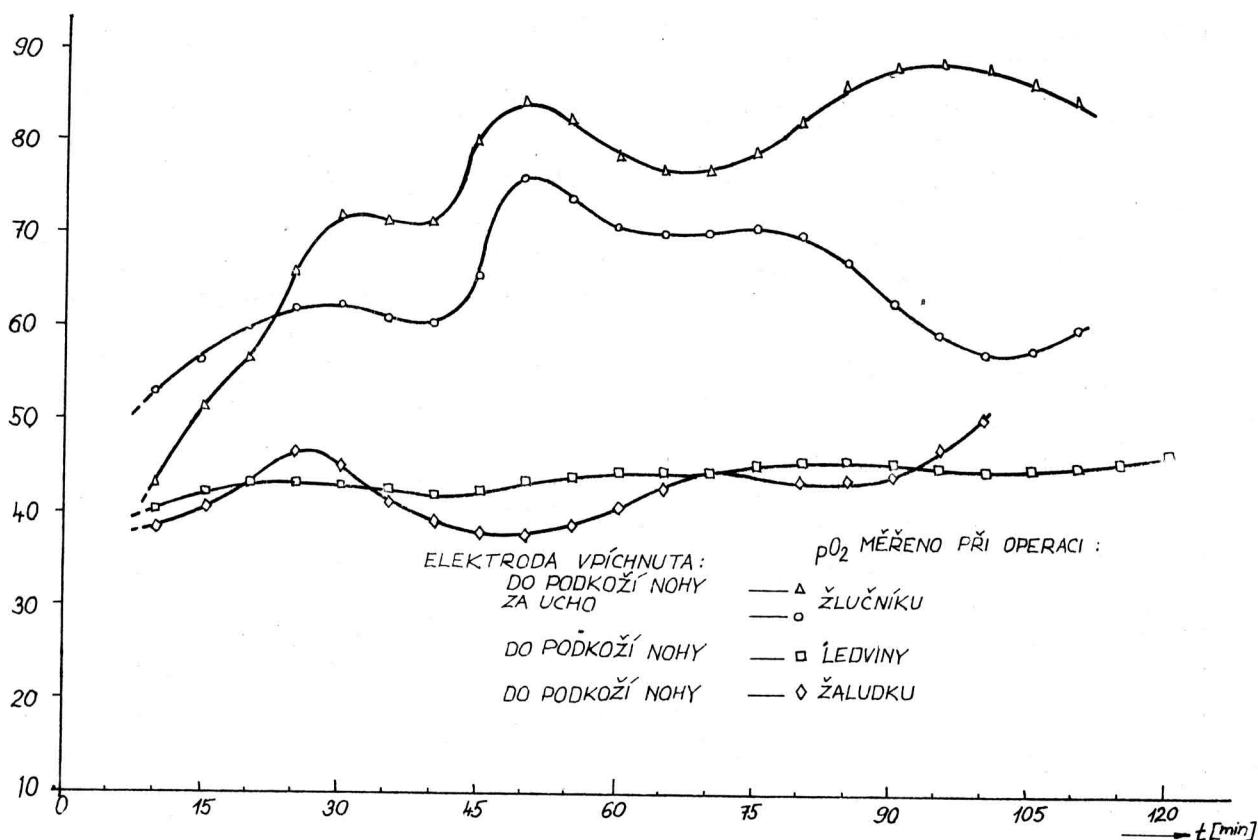


Obr. 2. Měření parciálního tlaku kyslíku v tkáních pacienta při atmosférickém tlaku při
 a) zadržení dechu b) dýchání kyslíku

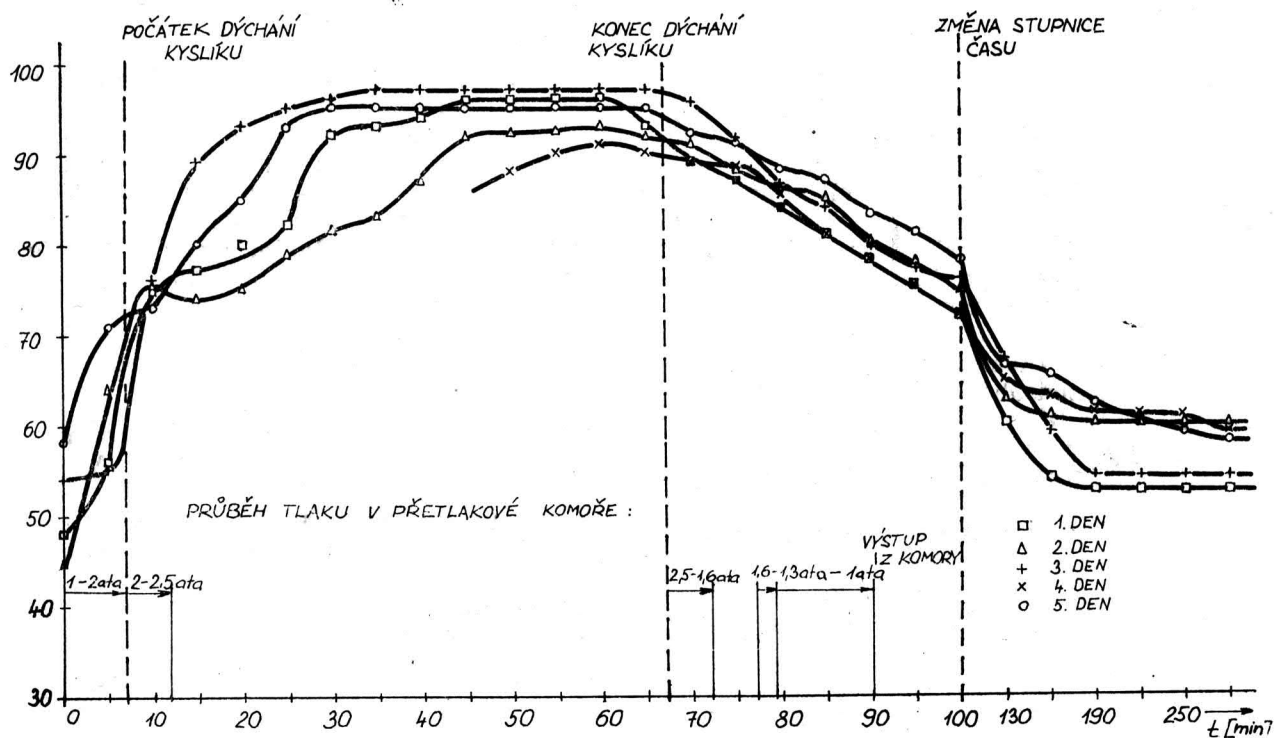
kutinách člověka a savců je různá a její grafické vyjádření logaritmickou křivkou má různý tvar. Z údaje měřidla můžeme tedy usuzovat na stoupající nebo klesající pO_2 , nemůžeme ale údaj pO_2 vyjadřovat v absolutních hodnotách. Tato situace nás nutí k tomu, abychom ve snaze po objektivizaci nehledali absolutní hodnoty pO_2 ve tkáni, nýbrž po časové ose sledovali prostý vzrůst či pokles tenze kyslíku v tkáni podle dílků měřidla. Toto tvrzení navíc podporuje i naše empirická zkušenost, že údaj měřidla je závislý jak na způsobu a lokalizaci vpichu aktivní elektrody, tak na kvalitě kontaktu indifferenční elektrody s pokožkou.

Pro ověření funkce tkáňového oxymetru a pro zjištění vzájemných korelací mezi pO_2 v tkáni trupu a oblasti mozku živých objektů bylo provedeno oxymetrické měření nejprve na králíkovi. Aktivní platinové elektrody byly vpíchnutím zavedeny do podkoží respektive hýžďového svalu na zadním břiše a do slechu, indifferenční elektroda byla upevněna na hřbetu králíka, který nebyl anestetizován a u něhož bylo dušení provedeno přetažením operační gumové rukavice přes hlavu. Měření proběhlo při těchto situacích:

1. Dušení trvající jednu minutu s následujícím spontánním dýcháním bez rukavice, obr. 1a. Zatímco v oblasti trupu je po minutovém dušení králíka patrný značný pokles tenze kyslíku až o 44 dílků měřidla (hýžďový sval), v oblasti mozku nastal pokles pouze o 11 dílků. Při započatém dýchání bez přetažení rukavice po dobu 7 až 15 sekund ještě pokles tenze kyslíku v oblasti trupu i mozku pokračuje, avšak během dalších 45 sekund dochází k vyrovnání na počáteční hodnoty.
2. Škrcení krevního oběhu stehna 1 minutu, následuje uvolnění škrtidla, obr. 1b. Aktivní elektroda byla napíchnuta v zadním břiše do podkoží. Během jedné minuty škrcení klesá prudce tenze kyslíku až o 28 dílků měřidla, po uvolnění krevního oběhu pO_2 ihned stoupá, po 30 sekundách dosahuje původní hodnoty.
3. Dýchání kyslíku po dobu 90 sekund, následuje spontánní dýchání vzduchu, obr. 1c. Zatímco v oblasti trupu stoupl pO_2 za 90 sekund o 20 dílků, v oblasti mozku jen o 3 dílky měřidla. Po zahájení dýchání vzduchu



Obr. 3. Měření parciálního tlaku kyslíku v tkáni pacienta při děletrvající anestézii



Obr. 4. Měření parciálního tlaku kyslíku v tkáni pacienta v podmínkách zvýšeného tlaku vzduchu v barokomoře a při dýchání kyslíku

se hodnoty vrátily do počátečního stavu během dalších 90 sekund.

Měření potvrdilo, že při kritických stavech zásobení tkáně kyslíkem (ať jde o nedostatečný rozvod kyslíku sníženým přísunem krve do tkáně, či nedostatek kyslíku při omezeném dýchání) „dělá“ organismus vše pro to, aby mozek byl zásobován kyslíkem na stejné úrovni co možná nejdéle.

Ve druhé části oxymetrických měření jsme se zabývali měřením pO_2 v tkáni u člověka bez anestézie. Aktivní elektrody byly opět vpíchnuty do podkoží stehna a za ucho pacienta. Bylo zjištěno, že krátkodobé omezení dýchání (zadržení dechu na 30 sekund) nemá praktický vliv na snížení pO_2 — v oblasti trupu klesl pO_2 pouze o jeden dílek měřidla, obr. 2a.

Při čtyřminutovém dýchání čistého kyslíku vzrostl pO_2 v tkáni v oblasti mozku o 5 dílků měřidla, v oblasti trupu rovněž o 5 dílků. Vyrovnaní pO_2 na počáteční hodnoty trvá pak déle, obr. 2b.

Dále bylo měřeno pO_2 v tkáni při déletrvající anestézii, přibližně dvouhodinové, obr. 3. I když pO_2 během operací kolísal, při ukončení anestézie byl zřejmý vzrůst pO_2 v tkáni. Při operaci žaludku byl vzrůst o 12 dílků, ledviny o 6 dílků, u žlučových cest až o 42 dílků měřidla (zde měřený pO_2 i v oblasti mozku vzrostl pouze o 8 dílků měřidla).

Na měření u králíka a u člověka je vidět podstatný rozdíl ve strmosti křivek. Poměrně plochý tvar křivek u člověka si můžeme vysvětlit mnoha důvody, mezi nimi i faktory, jak je uvádí HOŘEJŠÍ (1). Všechna měření byla prováděna bez nároku na vzájemné srovnání a tedy i dedukce z nich. Ve tkáních však beze sporu byla měřena tenze kyslíku vázaného na hemoglobin.

Zajímala nás situace, kdy je ve tkáních měřena tenze kyslíku, fyzikálně rozpuštěného v plazmě a tělních tekutinách vůbec, jak je tomu při hyperbaroterapii. Na chirurgickém oddělení vojenské nemocnice v Brně bylo v průběhu léčby pacienta s plynatou snětí v barokomoře provedeno měření pO_2 v tkáni před léčebným zákrokem, během něj s umístěním oxy-

metru mimo komoru, i po něm. Umístění přístroje je u naší komory zajištěno speciálním zabudováním konektoru ve stěně komory. Aktivní elektroda byla vpíchnuta do podkoží levého zdravého stehna pacienta a referenční elektroda byla umístěna na levé paži.

Měření v barokomoře při tlaku 2,5 ata a během přidýchávání kyslíku pacientem ukázalo, že se zvýší fyzikální rozpustnost kyslíku v extracelulární tekutině a že oxymetr zaznamená větší výchylky, obr. 4. Z téhož obrázku je vidět, že se pO_2 ve tkáni pacienta zvyšoval již od vstupu do barokomory, kdy ještě pacient nedýchal kyslík a tlak v komoře vzrůstal od 1 do 2 ata, tj. prvních 7 minut. Za tuto dobu stoupl pO_2 průměrně o 20 dílků měřidla. Po zahájení přidýchávání kyslíku stoupal pO_2 ještě strměji, až dosáhl zvýšení o 45 až 50 dílků proti výchozím hodnotám. Po 67minutovém pobytu v komoře, tj. po 60minutovém přidýchávání kyslíku pacientem, byl tlak snižován až na 1,6 ata s prodlevou 5 minut a na 1,3 ata s prodlevou 10 minut.

Měření bylo zjištěno, že pacient má zvýšenou úroveň pO_2 v tkáni ještě 4 hodiny po tom, co přestal přidýchávat kyslík a vystoupil z barokomory. Je tedy možno říci, že léčebný zákrok trvá po dobu pobytu pacienta v barokomoře, tj. asi 90 minut (s prodlevami) a odeznívá s příznivě zvýšenou hladinou pO_2 v tkáni pacienta ještě další asi 4 hodiny.

Tyto hodnoty nejsou postřehnutelné žádným klinickým způsobem hodnocení zdravotního stavu a jeví se jako významné pro objektivní zhodnocení léčebného zákroku. Popsaná měření nás opravňují k tvrzení, že miniaturní tkáňový oxymetr je zvláště vhodný přístroj pro měření pO_2 v podmínkách zvýšeného tlaku vzduchu, jako jsou barokomory a dekompresní komory.

Literatura

1. Hořejší, J., et al.: Pokroky v lékařské biochemii, SZN, Praha 1968, 293 s.
2. Miniaturní tkáňový oxymetr obor. č. 397 728 134, návod k použití, Chirana 1971.