



# NEMOCNICE!!!



Faculty of Medicine  
and Dentistry  
Palacky University Olomouc



## HYPERBARICKÁ A POTÁPĚČSKÁ MEDICÍNA 2015 SBORNÍK Z XXI. KONGRESU ČESKÉ SPOLEČNOSTI HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

## HYPERBARIC AND DIVING MEDICINE 2015 PROCEEDINGS OF XXI. CONGRESS OF THE CZECH SOCIETY OF HYPERBARIC AND AVIATION MEDICINE

11. - 12. června 2015  
Špindlerův Mlýn  
pod záštitou Královéhradeckého kraje

**Editoři:** Michal Hájek, Radek Pudil, Miloslav Klugar, Dittmar Chmelař





Česká společnost hyperbarické a letecké medicíny ČLS JEP  
Rehabilitační ústav Hostinné  
Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice Ostrava  
Lékařská fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě  
Lékařská fakulta Univerzity Karlovy a FN Hradec Králové  
Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci

pořádají

pod záštitou  
Královéhradeckého kraje

## XXI. KONGRES ČESKÉ SPOLEČNOSTI HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

## XXI. CONGRESS OF THE CZECH SOCIETY OF HYPERBARIC AND AVIATION MEDICINE

### Editori

- ▶ MUDr. Michal Hájek
- ▶ Prof. MUDr. Radek Pudil, Ph.D.
- ▶ Adj. A/Prof. PhDr. Miloslav Klugar, Ph.D.
- ▶ RNDr. Dittmar Chmelář, Ph.D.

### Recenzenti

- ▶ Adj. A/Prof. PhDr. Miloslav Klugar, Ph.D.
- ▶ Prof. MUDr. Radek Pudil, Ph.D.
- ▶ MUDr. Michal Hájek

### Vědecký výbor

- ▶ Prof. MUDr. Radek Pudil, Ph.D.
- ▶ MUDr. Michal Hájek
- ▶ Adj. A/Prof. PhDr. Miloslav Klugar, Ph.D.
- ▶ prof. MUDr. František Novomeský, Ph.D.
- ▶ doc. MUDR. Evžen Hrnčíř, CSc., MBA

### Organizační výbor

- ▶ MUDr. Josef Svoboda
- ▶ MUDr. David Zub
- ▶ p. Alena Vitoušková
- ▶ Mgr. Jana Maršílková

## ÚVODNÍ SLOVO

Milé kolegyně, vážení kolegové,

Česká společnost hyperbarické a letecké medicíny ČLS JEP, Rehabilitační ústav Hostinné, Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice Ostrava, Lékařská fakulta Ostravské univerzity v Ostravě, Lékařská fakulta Univerzity Karlovy a FN Hradec Králové a Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci si Vás dovojují pozvat na XXI. Kongres České společnosti hyperbarické a letecké medicíny, který se koná ve dnech 11. a 12. června tr. v prostorách Interhotelu Montana ve Špindlerově Mlýně.

Odborné jednání proběhne ve čtyřech blocích. Novinkou je workshop na téma potápěčská nehoda, který se bude věnovat zajímavým tématům pokrývající investigativní a forenzně medicínské aspekty smrtelných nehod, roli kardiovaskulárního systému při nehodách, oživením budou dvě kazuistická sdělení. Dalším blokem je hyperbarická oxygenoterapie, kde je nám ctí přivítat jako předsedající váženou paní senátorku Parlamentu České republiky a přední českou odbornici na hyperbarickou oxygenoterapii Doc. MUDr. Miladu Emmerovou, CSc. Blok přinese zajímavá data o klinické problematice HBO, mj. kritický pohled na roli HBO u intoxikací CO, příklady užití této terapie u nedoslychavosti a připomenutí dlouhé historie pracovišť poskytujících HBO v České republice. Třetí blok bude zaměřen na aktuální otázky potápěčské a letecké medicíny, konferenci uzavře čtvrtý blok věnovaný HBO a to z pohledu evidencí a experimentální problematiky.

Součástí kongresu je také plenární schůze členů ČSHLM a nelze zapomenout na galavečer.

Pevně věříme, že se nám podařilo sestavit zajímavý program pokrývající většinu oblastí hyperbarické a letecké medicíny. Doufáme, že pro Vás bude letošní kongres znamenat nejenom rozšíření a prohloubení zkušeností, ale také rozšíření a obohacení společenských kontaktů.

Za vědecký a organizační výbor

Radek Pudil, Michal Hájek a Miloslav Klugar

## ODBORNÝ PROGRAM – TEMATICKÉ OKRUHY

- ▶ Medicína založená na důkazech
- ▶ Hyperbarická medicína, hyperbarická fyziologie
- ▶ Potápěčská medicína, potápěčská fyziologie
- ▶ Organizace provozu a vzdělávání personálu
- ▶ Letecká medicína
- ▶ Varia

XXI. KONGRES ČESKÉ SPOLEČNOSTI  
HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

**Odborný program**

**Čtvrtek, 11. června 2015**

**10<sup>00</sup> - 16<sup>00</sup> Registrace**

**12<sup>00</sup> - 13<sup>00</sup> Oběd**

**13<sup>05</sup> - 13<sup>05</sup> Zahájení**

**13<sup>05</sup> - 15<sup>00</sup>** I. blok Workshop potápěčské medicíny na téma Potápěčská nehoda  
Předsedající: prof. MUDr. Radek Pudil, PhD., MUDr. Michal Hájek

- |   |     |
|---|-----|
| 1. <b>Novomeský F.</b> , Investigativní a forenzně medicinské aspekty smrtelných nehod potápěčů                         | 60' |
| 2. <b>Pudil R.</b> , Kardiovaskulární systém a potápěčská nehoda  | 20' |
| 3. <b>Hájek M.</b> , Koudelka D., Rozložník M., Novomeský F., Závažná potápěčská nehoda s dobrým koncem – popis případu | 15' |
| 4. <b>Guba M.</b> , Lipovský F., Kučera M. Potápěčská nehoda při potápění pod ledem                                     | 20' |

**15<sup>00</sup>-15<sup>30</sup> Přestávka**

**15<sup>30</sup>-17<sup>00</sup>** II. blok Hyperbarická oxygenoterapie – klinická problematika  
Předsedající: Doc. MUDr. Milada Emmerová, CSc.,  
prof. MUDr. František Novomeský, PhD.

- |  |     |
|--|-----|
| 1. Emmerová M., <b>Poklopová Z.</b> , Růžička J., Hajšmanová M., Malá A., Suchý D.<br>Pětačtyřicáté výročí klinického využití hyperbaroxie v Plzni   | 20' |
| 2. Chvojka J., Dejmek J., Bolek L., Beneš J., <b>Růžička J.</b> . Kritický pohled na indikaci hyperbarické oxygenoterapie u otravy oxidem uhelnatým  | 20' |
| 3. <b>Zub D.</b> , Svoboda J., Vitoušková A., Svobodová K., Hájek M. Deset let provozu pracoviště hyperbarické oxygenoterapie v Rehabilitačním ústavu Hostinné; stručný přehled výsledků a série případů | 20' |
| 4. <b>Hájek M.</b> , Maršálková J., Neuwirtová I., Chmelař D., Rozložník M.<br>Hyperbarická oxygenoterapie v léčbě náhle vzniklé nedoslýchavosti   | 15' |
| 5. <b>Oniščenko B.</b> Retrospektivní analýza výskytu centrální kyslíkové toxicity při hyperbarické oxygenoterapii v závislosti na režimu dýchání kyslíku v letech 2009 - 2014                           | 15' |

**17<sup>10</sup> - 18<sup>30</sup> Schůze výboru ČSHLM  
19<sup>00</sup> - 24<sup>00</sup> Gala večer**

## Pátek, 12. června 2015

**9<sup>00</sup> - 10<sup>20</sup>** III. blok Potápěčská fyziologie, potápěčská medicína  
Předsedající: Adj. A/Prof. PhDr. Miloslav Klugar, Ph.D., MUDr. David Zub

- |  |     |
|--|-----|
| 1. <b>Pudil R.</b> , Diving response při freedivingu   | 20' |
| 2. <b>Rozložník M.</b> , Bezpečnostné opatrenia počas terénneho potápačského výskumu.                | 20' |
| 3. <b>Hrnčíř E.</b> , Kneidlová M. Nový způsob odškodňování zdravotních poruch způsobených potápěním | 20' |
| 4. <b>Došel P.</b> Gz přetížení při seskocích z extrémních výšek                                     | 20' |

## 10<sup>20</sup> - 10<sup>40</sup> Přestávka

**10<sup>40</sup> - 12<sup>00</sup>** IV. blok - Hyperbarická oxygenoterapie  
– vědecké důkazy a experimentální problematika

Předsedající: Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc., Msc. Miroslav Rozložník, PhD.

- |  |     |
|--|-----|
| 1. Klugarová J., Klugar M., <b>Tučková D.</b> , Marečková J., Propedeutika tvorby systematického review – význam protokolu systematického review   | 20' |
| 2. <b>Klugar M.</b> , Klugarová J., Marečková J., Tučková D. The effectiveness of hyperbaric oxygen therapy on mortality in adults with traumatic brain injury: preview of preliminary results of systematic review. | 20' |
| 3. <b>Bolek L.</b> , Dejmek J., Bajgar R., Babuška V., Růžička J., Beneš J., Tománková K., Bolek M., Kolářová H. Miniaturní hyperbarické komůrky pro laboratorní experimenty a testování                             | 20' |
| 4. <b>Grüntz R.</b> , Development and trends in the HBO scene worldwide  | 20' |

**12<sup>00</sup>-12<sup>10</sup> Zakončení konference  
12<sup>10</sup>-12<sup>45</sup> Shromáždění členů ČSHLM  
12<sup>45</sup> Oběd**

## **Obsah**

### **I. blok Workshop potápěčské medicíny na téma Potápěčská nehoda**

Kardiovaskulární systém a potápěčská nehoda

Pudil R.

8

Závažná potápěčská nehoda s dobrým koncem – popis případu

Hájek M., Koudelka D., Rozložník M., Novomeský F.

13

### **II. blok Hyperbarická oxygenoterapie – klinická problematika**

Přeťažyřící výročí klinického využití hyperbaroxie v Plzni

Emmerová M., Poklopová Z., Růžička J., Hajšmanová M., Malá A., Suchý D.

21

Kritický pohled na indikaci hyperbarické oxygenoterapie u otravy oxidem uhelnatým

Chvojka J., Dejmek J., Bolek L., Beneš J., Růžička J.

25

Deset let provozu pracoviště hyperbarické oxygenoterapie v Rehabilitačním ústavu Hostinné; stručný přehled výsledků a série případů

Zub D., Svoboda J., Vitoušková A., Svobodová K., Hájek M.

29

Hyperbarická oxygenoterapie v léčbě náhle vzniklé nedoslychavosti

Hájek M., Maršálková J., Neuwirtová I., Chmelař D., Rozložník M.

33

Retrospektivní analýza výskytu centrální kyslíkové toxicity při hyperbarické oxygenoterapii v závislosti na režimu dýchání kyslíku v letech 2009 - 2014

Oniščenko B.

38

### **III. blok Potápěčská fyziologie, potápěčská medicína**

Diving response při freedivingu

Pudil R.

43

Bezpečnostné opatrenia počas terénnego potápačského výskumu

Rozložník M.

47

Nový způsob odškodňování zdravotních poruch způsobených potápěním

Hrnčíř E., Kneidlová M.

50

-Gz přetížení při seskocích z extrémních výšek

Došel P.

55

### **IV. blok - Hyperbarická oxygenoterapie – vědecké důkazy a experimentální problematika**

Propedeutika tvorby systematického review – význam protokolu systematického review

Klugarová J., Klugar M., Tučková D., Marečková J.

61

The effectiveness of hyperbaric oxygen therapy on mortality in adults with traumatic brain injury: preview of preliminary results of systematic review

Klugar M., Klugarová J., Marečková J., Tučková D.

65

Miniaturní hyperbarické komůrky pro laboratorní experimenty a testování

Bolek L., Dejmek J., Bajgar R., Babuška V., Růžička J., Beneš J., Tománková K., Bolek M., Kolářová H.

71

# KARDIOVASKULÁRNÍ SYSTÉM A POTÁPĚČSKÁ NEHODA

Pudil R.

1. interní kardioangiologická klinika LF UK a FN Hradec Králové, Česká republika

## Abstrakt

V posledních desetiletích stoupá počet lidí, kteří se věnují potápění v rámci sportovně-rekreačních aktivit. Data z analýz potápěčských fatalit ukazují, že onemocnění kardiovaskulárního systému se podílí na vzniku třetiny potápěčských fatalit registrovaných potápěčů. Mezi příčiny tohoto stavu patří stoupající věk potápěčské populace, obecně nižší úroveň fyzické trénovanosti populace a vzrůstající kumulace rizikových faktorů kardiovaskulárních onemocnění.

Potápění však vyžaduje dostatečnou úroveň tolerance fyzické zátěže a schopnost odolávat vlivům zevního prostředí, kterými jsou zvýšený tlak, nízká teplota, změny v kinetice některých plynů (především dusíku) ve tkáních. Ukazuje se, že mezi nejvýznamnější vlivy, které ovlivňují bezpečnost ponoru, patří věk, úroveň fyzické zdatnosti, tolerance chladu, schopnost kardiovaskulárního systému kompenzovat ponorem navozenou redistribuci hemocirkulace se zvýšeným žilním návratem a vazokonstrikcí, dále schopnost zvýšit minutový výdej v podmínkách zvýšených nároků. Tyto schopnosti mohou být narušeny u potápěčů s preeexistujícím onemocněním kardiovaskulárního systému a mohou být jednou z příčin potápěčské nehody (vrozené a získané srdeční vady, arteriální hypertenze, ischemická choroba srdeční, kardiomyopatie, arytmie a další). Přítomnost onemocnění kardiovaskulárního systému však vždy nemusí znamenat kontraindikaci k potápění.

Prevence těchto onemocnění, jejich včasné odhalení a správná terapie, stejně jako určení bezpečných hranic a způsobu potápění mají zásadní význam pro zvýšení bezpečnosti potápění. V této souvislosti mají zásadní význam znalosti a zkušenosti vyšetřujícího lékaře v oblasti potápěčské medicíny. Zatímco v případě profesních potápěčů existují přesně daná pravidla pro zdravotnické zabezpečení této činnosti, v případě rekreačních potápěčů jsou to především praktičtí lékaři a ambulantní specialisté, kteří mají rozhodující úlohu v tomto procesu.

**Klíčová slova:** kardiovaskulární systém, úmrtí při potápění, příčiny

## CARDIOVASCULAR SYSTEM AND DIVING FATALITY

Pudil R.

1<sup>st</sup> Dept. of Medicine - Cardioangiology, Faculty of Medicine, Hradec Králové, Czech Republic

## Abstract

In recent decades, the number of people who are interested in diving within the sport and recreational activities is increasing. The data of the registries of the diving fatalities show that cardiovascular diseases are involved in one third of the diving fatalities among the certified scuba divers. Among the reasons for this were identified the increasing age of the population of diving, the generally low level of physical fitness and the increasing cumulation of risk factors for cardiovascular disease in general population.

Diving requires a sufficient level of exercise tolerance and ability to withstand the effects of external environment, which are represented by increased ambient pressure, low tempera-

ture, changes in the kinetics of certain gases (particularly nitrogen) in the body tissues. It has been shown that among the most important factors affecting the dive-safety play the major role age, level of physical fitness, cold tolerance, the ability of the cardiovascular system to compensate water immersion induced blood redistribution with increased venous return and vasoconstriction, as well as the ability to increase cardiac output when it is needed. These capabilities of cardiovascular system can be diminished by the presence of pre-existing diseases of the cardiovascular system, and can be one of the causes leading to diving fatality (congenital/acquired valvular disease, arterial hypertension, ischemic heart disease, cardiomyopathy, arrhythmia, etc.). The presence of cardiovascular disease, however, does not always mean a contraindication to diving.

Prevention of these diseases, early detection and proper treatment, as well as the determination of secure borders and way of diving, is essential to increase diving safety. In this context, knowledge and experience of the examining doctor in diving medicine play crucial role. Compare to professional divers, where are clearly defined rules for medical support of this activity including specially trained medical staff, in recreational divers, there are especially GPs and outpatient specialists, who have a crucial role in this process.

**Key words:** cardiovascular system, diving fatality, causes

Potápění patří mezi populární sportovně-rekreační aktivity, které zaznamenaly v posledních desetiletích nárůst příznivců. V České republice tato data představují přibližně 7 800 sportovně rekreačních potápěčů registrovaných ve Svazu potápěčů České republiky, k nim je třeba připočítat potápěče, kteří absolvovali výcvik a jsou registrováni v jiných systémech (např. PADI, SSI, NAUI, AIDA Czech Republic, a podobně) nebo se potápějí neorganizovaně. Lidé, kteří se věnují potápění v rámci profes (profesní potápěči) představují poměrně menší skupinu (vydáno je přibližně 300 licencí profesního potápěče, počet aktivních profesních potápěčů se pohybuje mezi 50-100). Zatímco zdravotní zabezpečení profesionálního potápění se řídí přesnými směrnicemi, v oblasti sportovně rekreačních potápěčů není zdravotní péče systematicky organizována.

Počet nefatálních potápěčských nehod se v České republice odhaduje na několik desítek za rok, fatálních nehody jsou naštětí vzácnější (jednotlivci/rok). V této oblasti neexistuje přesná evidence, data jsou převzata jako odhady pojíšťovenšských společností, potápěčských svazů a podle dat ze zdravotnického systému. V předcházení potápěčských nehod má velkou roli správné posouzení zdravotního stavu potápěče v rámci tzv. vstupních vyšetření a periodických prohlídek. Posuzování zdravotního stavu sportovně rekreačních potápěčů je v péči praktických lékařů, lékařů se specializací v oblasti tělovýchovného lékařství nebo hyperbarické medicíny a řídí se doporučeními odborných společností (Pudil et al., 2014).

Podle dostupných literárních údajů se onemocnění kardiovaskulárního systému podílejí na vzniku nejméně jedné třetiny úmrtí vzniklých v souvislosti s potápěním (Denoble et al., 2008). Onemocnění kardiovaskulárního systému jsou v četnosti příčinou úmrtí za utopením/afyxií a vzduchovou embolií třetí nejčastější příčinou úmrtí při potápění a velmi významně předcházejí snad dekomprezní chorobu (Divers Alert Network 2004, Denoble et al. 2010).

V této souvislosti má velký význam znalost faktorů a procesů, které zásadním způsobem ovlivňují vznik potápěčské nehody, na které se může podílet onemocnění kardiovaskulárního systému. Patří mezi ně faktory zevního prostředí (tlak, nízká teplota, změny v kinetice některých plynů), dále individuální faktory (věk, tolerance chladu, fyzické zátěže a preexistující

stav kardiovaskulárního aparátu). Z hlediska kardiovaskulárního systému patří mezi velmi významné zevní faktory věk, který je spojen s vyšším výskytem kardiovaskulárních komorbidit, dále nízká teplota okolního prostředí, která patří mezi významné stimuly vedoucí k redistribuci krevního zásobení (periferní vazokonstrikce spojená s centralizací oběhu a zvýšenými nároky na správnou funkci myokardu), změna kinetiky plynů v různých tkáních těla, schopnost zvýšit minutový srdeční výdej (daný nutností plavání v proudech či při řešení krizové situace), a v neposlední řadě přítomnost preexistujícího onemocnění kardiovaskulárního systému (Bennet et al., 2006).

## **Demografické vlivy**

Populace, která se věnuje potápění jako sportovně-rekreační aktivitě, stárne. Svědčí o tom data analýz společností, které provádějí systematický analýzy potápěčských fatalit. Podle výroční zprávy BSAC za rok 2014 (British Subqua Club, největší britská organizace sdružující sportovně rekreační potápěče) se průměrný věk potápěčů ve Spojeném království zvýšil. Zatímco v roce 1998 byl nejčastější věk potápěčů v rozmezí 31-40 let, v roce 2013 to bylo již věkové rozmezí 41-50 let. Za stejné období se zvýšil věk potápěčů starších 40 a 50 let (ve skupině nad 40 let 2x, ve skupině nad 50 let 3x). Podobný trend jsme zaznamenali i v České republice. Tyto změny s sebou nesou řadu faktorů, které se mohou negativně projevit při vniku potápěčské nehody: je zde zvýšené riziko výskytu kardiovaskulárních a jiných komorbidit, snížená fyzická výkonnost a schopnosti odolávat vlivům zevního prostředí.

## **Tolerance fyzické zátěže**

Fyzická zdatnost z toho vyplývající tolerance fyzické zátěže je významným faktorem, který se může velmi negativně projevit v zátěžových situacích (potápění na otevřené vodě v proudech, při vzniku krizových situací a podobně). Spotřeba kyslíku při tělesné zátěži typu plavání a potápění stoupá se vzrůstající rychlostí pohybu nelineárně (Pendergast, D.R. et al. 2003). Tento stav může být ještě zhoršen výstrojí, která může klást zvýšený odpor v pohybu a tím zvyšovat spotřebu kyslíku. V případě vzniku středně silného proudu či při plavání na hladině ve větru se spotřeba kyslíku zvyšuje až 5x v porovnání klidovým stavem, kdy VO<sub>2</sub> dosahuje hodnot 20ml/kg/min, což představuje hodnotu přibližně 6-7 metabolických ekvivalentů (METs) a to představuje přibližně 50% VO<sub>2</sub> max. Tento stav je průměrně trénovaný potápěč schopen tolerovat asi 50-60 minut (Faude et al., 2009, Leprete et al., 2008). V některých spotřeba kyslíku ještě stoupá. Z této studie byla odvozena doporučení pro fyzickou zdatnost potápěčů v takových podmínkách odpovídající dosažení intenzity zátěže odpovídající 12-13 metabolickým ekvivalentům. Pro potápěče, kteří nejsou schopni dosáhnout takové fyzické zdatnosti je bezpečnější potápění v méně náročných podmínkách (teplá voda, minimální proudy, minimální nutnost plavání na hladině a podobně). V této souvislosti je třeba zmínit také zvýšenou ventilaci u méně trénovaných jedinců, která může vést k progresi dušnosti. Zabezpečení dostatku dýchacího média pak může být v takových podmínkách velkým problémem, který může vést ke vzniku fatální nehody.

## **Termální vlivy**

Teplota okolního prostředí, zejména pak vliv ponoření těla do chladné vody, vede k významným změnám hemocirkulace. Chladné vodní prostředí aktivuje mechanismy, jejichž výsledkem je významná periferní vazokonstrikce spojená s centralizací oběhu, zvýšeným žilním návratem k srdci, změnami zásobení viscerálních orgánů a podobně. Výsledkem jsou změny objemu srdečních oddílů, mění se srdeční výdej, stoupá arteriální krevní tlak, mění se sr-

deční frekvence. Tyto změny představují zvýšené nároky na čerpací funkci myokardu. V této souvislosti je třeba připomenout nutnost dobrého stavu kardiovaskulárního aparátu a tomu přizpůsobit náročnost ponoru. V našich zeměpisných podmínkách převažuje chladnější voda (na většině našich lokalit v hloubkách nad 10 - 15 metrů celoročně nestoupá teplota vody nad 4-6 st. C). V takových podmínkách se může projevit i tzv. chladový otok plic (flash edém plic), ke kterému může dojít u predisponovaných jedinců (např. u některých hypertoniků s poruchou diastolické funkce myokardu) velmi rychle. Tento stav může vést velmi rychle ke vzniku potápěčské nehody se závažnými následky. Proto je třeba opět věnovat pozornost diagnostice a terapii preexistujících onemocnění a podle toho zvážit potápění či alespoň eliminovat jeho náročnost.

## **Preexistující onemocnění kardiovaskulárního systému**

Preexistující onemocnění kardiovaskulárního systému může významně ovlivnit bezpečnost potápěče jak v zátežových situacích, tak i při náročnějších ponorech. Data registrů potápěčských fatalit ukazují na některá onemocnění, kterým je potřeba věnovat zvýšenou pozornost. UKazuje se, že jejich spektrum je závislé na věku potápěče.

Mezi nejčastější kardiovaskulární příčiny úmrtí při potápění ve věku nad 35 let patří ischemická choroba srdeční, která se může manifestovat akutním koronárním syndromem (akutním infarktem myokardu, nestabilní angínou pectoris), závažnými arytmiami (komorové arytmie, bradykardie) a selháním srdce. Tyto stavy mohou vést k deterioraci celkového stavu potápěče nebo k náhlé smrti. K manifestaci těchto stavů dochází především při stresu, zvýšené fyzické či psychické zátěži, které se mohou u osob s preexistujícím postižením koronárních tepen projevit právě v souvislosti s potápěním. Proto má zásadní význam odhalení choroby u rizikových osob a jejich včasné terapie. Mezi nejvýznamnější rizikové faktory patří věk, mužské pohlaví, obezita, diabetes, kouření, hyperlipidémie a arteriální hypertenze. Přítomnost těchto faktorů u potápěče by měla být indikací k provedení zátežového vyšetření. Další otázkou, která vyžaduje důkladného vyšetření a individuálního posouzení pokračování v potápění, jsou stavy po prodělaném infarktu myokardu. Zde není obecné doporučení, avšak je potřeba postupovat individuálně a velmi obezřetně s přihlédnutím k dalším údajům (dosažení kompletní revaskularizace, přítomnost poruchy funkce levé komory, arytmii, známky srdečního selhání a podobně). Na místě je provedení zátežového testu a velmi uvážlivá indikace respektive zákaz potápění. Podobná pravidla platí i pro nemocné s kardiomyopatiemi. I zde je zvýšené riziko selhání srdce či náhlé smrti v důsledku vzniku arytmie. Potápění je zpravidla u všech významnějších poruch kontraindikováno. Podobná pravidla platí pro vrozené a získané chlopenní vady. Zde je připomenout perzistentní formane ovale, který může v důsledku pravolevého zkratu vést k přechodu mikrobublin do systémového řečiště a vyvolat významné postižení (např. dekomprezní nemoc a podobně). Velkou pozornost je potřeba věnovat také arytmii. Řada z nich může být potenciálně velmi nebezpečná (především komorové, ale i některé supraventrikulární arytmie, především s rychlou odpovědí komor). Nemocní s implantovaným kardioverterem/defibrilátorem by měli být z potápění jednoznačně vyloučeni, výjimkou jsou nemocní léčení kardiostimulátory. Zde se je možné v některých případech uvažovat o povolení potápění. Samostatnou kapitolou je kardiovaskulární medikace a potenciální rizika, které tato terapie může potápěči přinést (např. antiarytmika či betablokátory mohou být příčinou neschopnosti adekvátně zvýšit tepovou frekvenci v případě potřeby nebo prohlubit bradykardii, podobně antikoagulační a antiagregační terapie s sebou nese zvýšené riziko krvácivých komplikací apod.). Tyto stavy vyžadují individuální posouzení a obezřetnost.

## Závěr

Kardiovaskulární onemocnění se podílejí na třetině úmrtí, ke kterým dochází při potápění. Tento stav odráží situaci v běžné populaci, kde jsou onemocnění kardiovaskulárního systému také nejčastější příčinou úmrtnosti. Velkou roli v prevenci potápěčských fatalit z kardiovaskulárních důvodů mají vstupní a periodické prohlídky potápěčů. Jejich cílem je odhalit stav, které by mohly vést k ohrožení života potápěče. Zde má důležitou roli detekce rizikových faktorů, které vedou ke vzniku kardiovaskulárních onemocnění a posouzení tělesné výkonnosti zátěžovým testem. Ačkoliv je přítomnost onemocnění kardiovaskulárního systému jednou z nejčastějších důvodů pro zákaz potápění, nemusí tomu však být vždy. Opět zde hraje důležitou roli především zátěžové vyšetření.

## Referenční seznam

- Bennet, P.B., Cronjé, F.R., Campbell, E.S. (2006). *Assessment of diving medical fitness for scuba divers and instructors*: Best Publishing Company.
- Denoble, P.J., Caruso, J.L., Dear, G., Pieper, C.F., Vann, R. D. (2008). Common causes of open-circuit recreational diving fatalities. *Undersea Hyperb Med*, 35(6), 393-406.
- Denoble, P., Marroni, A., Vann, R. (2010). Annual fatality rates and associated risk factors for recreational scuba diving. In: Vann et al.(eds.), *Recreational Diving Fatalities. Proceedings of the Divers Alert Network 2010 April 8-10 Workshop*.
- Diver Alert Network: *Report on Decompression Illness, Diving Fatalities and Project Dive Exploration* (2004). Durham, NC: Divers Alert Network, 2004; pp77-87
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*, 39, 469-90.
- Lepretre, P.M., Lopes, P., Koralsztein, J.P., Billat, V. (2008). Fatigue responses in exercise under control of VO<sub>2</sub>. *Int J Sports Med*, 29, 199-205.
- Pendergast, D.R., Mollendorf, J., Logue, C., Samimy, S. (2003). Evaluation of fins used in underwater swimming. *Undersea Hyperb Med*, 30, 57-73.
- Pudil, R., Macura, P., Hájek, M., Slabý, K. (2014). Doporučení pro posuzování zdravotního stavu sportovních potápěčů. Společná doporučení České společnosti hyperbarické a letecké medicíny ČLS JEP a České společnosti tělovýchovného lékařství. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 23(2), 47-54.

# ZÁVAŽNÁ POTÁPĚČSKÁ NEHODA S DOBRÝM KONCEM – POPIS PŘÍPADU

<sup>1,2</sup> Hájek M., <sup>3</sup> Koudelka D., <sup>2,4</sup> Rozložník M., <sup>5</sup> Novomeský F.

<sup>1</sup> Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice Ostrava, Česká republika

<sup>2</sup> Katedra biomedicínských oborů, LF Ostravské univerzity v Ostravě, Česká republika,

<sup>3</sup> Zdravotnická záchranná služba Moravskoslezského kraje, Ostrava, Česká republika,

<sup>4</sup> Katedra živočišnej fyziologie a etológie, PF, Univerzita Komenského v Bratislave, Slovenská republika

<sup>5</sup> Ústav súdneho lekárstva, JLF UK Martin, Slovenská republika

## Abstrakt

Autoři popisují závažnou potápěckou nehodu, která ukazuje, jak náročné takové případy mohou být v přednemocniční i klinické péči. V průběhu nehody došlo k aspiraci do plic, bezvědomí a tonutí. Průběh ponoru, porucha vědomí, zástava dechu a pravděpodobně i oběhu bezprostředně po vynoření popisovaná zachránci svědčila pro podezření na barotrauma s embolií do mozkových tepen (CAGE). Vzhledem k tomu byla pacientka urychleně směřována k provedení HBO (tabulka US NAVY 6). Přes závažnost stavu díky rychlé pomoci svědků nehody a celého komplexu zdravotnických týmů (záchranaři, emergency, hyperbarická medicína, intenzivní medicína) byl výsledek léčby výborný, došlo ke kompletnímu uzdravení pacientky bez trvalých následků. Lékaři urgentní medicíny, kteří jsou na místě nehody zpravidla prvními zdravotníky, poskytující odbornou pomoc, by měli mít určité penzum znalostí, které by spolu s informacemi získanými z primárního vyšetření zraněného potápěče měly vést k správnému posouzení stavu a následnému směřování k optimální léčbě. Potápěcká medicína není celostátně součástí pregraduálního zdravotnického vzdělávání, což může vést v některých případech k nejistotě a může být přičinou chybných postupů a neadekvátní terapie potápěckých incidentů. To zhoršuje také nedostatečná dostupnost hyperbarických komor v ČR, zejména pro ošetření kriticky nemocných pacientů se selhávajícími životními funkcemi, vyžadujícími intenzivní péči během léčby HBO.

**Klíčová slova:** potápěcké dekomprezní poranění, barotrauma, hyperbarická oxygenoterapie, intenzivní péče

## SERIOUS DIVING INCIDENT WITH A HAPPY ENDING - CASE REPORT

<sup>1,2</sup> Hájek M., <sup>3</sup> Koudelka D., <sup>2,4</sup> Rozložník M., <sup>5</sup> Novomeský F.

<sup>1</sup> Centre of Hyperbaric Medicine, Municipal Hospital of Ostrava, Czech Republic

<sup>2</sup> Chair of Biomedical Sciences, Medical Faculty, University of Ostrava, Czech Republic,

<sup>3</sup> Emergency Medical Service of Moravian-Silesian Region, Ostrava, Czech Republic,

<sup>4</sup> Department of Animal Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovak Republic

<sup>5</sup> Institute of Forensic Medicine and Medical Expertises, Jessenius Faculty of Medicine, Comenius University, Martin, Slovak Republic

## Abstract

The authors describe a serious diving incident, which shows how difficult such cases may be in pre-clinical and clinical care. During this incident occurred aspiration into the lungs, unconsciousness and drowning. The course of the dive, impaired consciousness, respiratory arrest and probably cardiac arrest immediately after surfacing have been described.

bed by rescuers testified for suspected barotrauma with embolism into the cerebral arteries (CAGE). Since the patient was promptly directed to hyperbaric oxygen treatment (Table US NAVY 6). Through severity of illness due to rapid rescue by witnesses of the accident and the entire complex medical teams (rescue workers, emergency, hyperbaric medicine, intensive medicine) treatment outcome was excellent and patient completely healed without permanent sequelae. Emergency medicine physicians who are on the ground accidents usually the first health care professionals, providing expert assistance, should have a certain amount of knowledge, which, together with information obtained from the primary examination of the injured diver should lead to a correct assessment of the situation and subsequent progress towards optimal treatment. Diving medicine is not part of the nationwide undergraduate medical education, which can lead in some cases to uncertainty and may lead to incorrect procedures, and inadequate treatment of diving incidents. It also exacerbates the lack of availability of hyperbaric chambers in the Czech Republic, especially for the treatment of critically ill patients with failing vital functions, requiring intensive care during HBO treatment.

**Keywords:** diving decompression injury, barotrauma, hyperbaric oxygen, intensive care

## Úvod

Potápění na nádech i přístrojové potápění se v posledních letech stává velmi populárním rekreačním sportem. Ten však i v zdánlivě neškodných hloubkách klade značnou zátěž na kardiovaskulární systém, uši, a plíce. Neočekávané události při potápění, snížená funkční rezerva a preexistující onemocnění zvyšují rizika potápěčské nehody. Mezinárodní výzkumy odhalily, že drobné nehody se vyskytují u 1,3% všech ponorů (Eichhom & Leyk, 2015), k dekomprezní nehodě dochází v 1-5 případech na 10 000 ponorů (Marroni, Cronié, Meintjes & Cali-Corleo 2006). K fatální nehodě dochází ve 2-4 případech na 100 000 ponorů. Ačkoli se vážná zranění vyskytují zřídka, jakmile k nim dojde, jsou znalosti potápěčské medicíny, nebo urychlené získání informací odbornou konzultací případu, naprostě zásadní. Potápěčská dekomprezní nehoda je život ohrožující událost vznikající v souvislosti s potápěním. Dekomprezní poranění (DCL - decompression injury nebo illness) je společné označení pro dekomprezní onemocnění (DCS - decompression sickness) a arteriální plynovou embolii (AGE - arterial gas embolism). AGE vzniká při plicním barotraumatu jako následek přepětí a poškození plicní tkáně. Toto je způsobeno redukcí okolního tlaku během výstupu v kombinaci s nedostatečným výdechem. Vedlejším nálezem může být pneumothorax a emfyzém různé lokalizace. Jiným důvodem AGE může být prostup volných bublin plynu patologicky přítomnou pravolevou komunikací na úrovni srdečních síní - PFO (persistující foramen ovale) nebo plicním zkratem při aberantní plicní žile. DCS je způsobena rychlým poklesem okolního tlaku při vynořování a je charakterizována vznikem volných bublin plynu v krvi a tkáních a jejich reakcí s organismem. Bubliny mechanicky komprimují tkáň nebo embolizují venózní řečiště, chovají se jako cizorodá agens a mohou aktivovat různé kaskádové systémy, které způsobují sekundární poškození, jako jsou aktivace komplementu, aktivace polymorfonukleáru, reperfuzní, endoteliální poranění, nebo disseminovaná intravaskulární koagulopatie (Novotný & Pácová, 2012). Jedná se o problém, ke kterému může dojít při potápění, kesonářských pracích, v hyperbarické medicíně (personál), leteckých a vesmírných operacích. Klinicky se onemocnění projevuje kožními, kloubními, oběhovými a neurologickými potížemi s různorodými symptomy (svědění, skvrny na kůži, kloubní bolesti, bolesti na hrudníku, kašel, závratě, parézy končetin, křeče, bezvědomí). Dle Goldingovy klasifikace se lehčí formy označují jako DCS typu I (forma kožní, muskuloskeletální, lymfatická, kardiální, nespecifická), těžší formy jako DCS typu II, kde jsou řazeny forma neurologická, plicní a audiovestibulární (Marroni, Cronié, Meintjes & Cali-Corleo, 2006). Prevencí je důsledné dodržování výstupové rychlosti již od počátku výstupu a eventuálně zařazení hloubkových zastávek, nicméně se uvádí, že více než 50% nehod je tzv.

nehod „nezasloužených“, tj. při dodržení všech pravidel. Cílem této práce je popsat závažnou potápěckou nehodu, ke které došlo 5. 11. 2014 v zatopeném břidlicovém lomu Šífr ve Svoobodných Heřmanicích na Bruntálsku.

## **Metodika**

Analyzovali jsme příslušné zdravotnické záznamy, zprávu lékaře letecké záchranné služby Moravskoslezského kraje, laboratorní výsledky, výsledky zobrazovacích metod, výpovědi svědků nehody, zachránců a graf ponoru postižené osoby.

## **Výsledky**

K této závažné nehodě čtyřicetileté ženy došlo během přístrojového potápění (láhev se vzduchem) v zatopeném břidlicovém lomu Šífr ve Svoobodných Heřmanicích na Bruntálsku. Pacientka s dosud němou anamnézou se potápěla s kolegy do hloubky kolem 25m, když se náhle ztratila z dohledu svému buddymu tím, že se prudce vynořila. Původně se předpo-kládalo, že se vynořila až téměř k hladině, nicméně z analýzy grafu získaného z dekom-presního komputera je patrná hloubka 14 metrů. Poté následoval rychlý pád na dno do hloubky cca 26 metrů. Zde byla asi po 2 minutách nalezena a rychle vynesena zpět na hladinu. Celý ponor trval 16 min. 20 sec. Po vytažení na břeh byla dle svědků v bezvědomí, bezdeší a bez hmatného pulzu. V ústech měla zvratky a narůžovělou pěnu. Byla jí poskytnuta KPR, s prvním vycistěním úst od zvratků a pěny. Asi po 5 minutách postižená začala chrčivě dýchat a byl nahmatán slabý pulz. Po 10 minutách přijela sanita RLP, o chvíli později přiletěl vrtulník LZS. Lékař konstatoval podchlazení, poruchu vědomí popisovanou jako sopor, na glasgowské škále poruchy vědomí [GCS] 6-7, nekomunikovala, reagovala pouze na hrubý algický podnět po hybem končetin. Měla růžovou pěnu u úst, byla podchlazená, s neměřitelnou pulzní oximetrií a hyperventilovala. Zornice byly izokorické, na končetinách při pohybech bez známek laterализace, tep na velkých tepnách dobře hmatný, pravidelný, s frekvencí 70-80/minutu. Byl podáván 100 % O<sub>2</sub> maskou, vysloveno podezření na barotrauma a z toho důvodu bylo kontaktováno pracoviště hyperbarické medicíny v MNO. Pacientka byla zaintubována, napojena na umělou plicní ventilaci (UPV), farmakologicky tlumena, s podáním svalových relaxancí. Na UPV byla pacientka stabilizovaná, poslechově bylo slyšitelné dýchání oboustranně sklípkové, pouze při bazích oslabené. Byl realizován letecký transport do Ostravy na heliport, kde pacientka byla předána RLP a transportována do MNO k provedení urgentní expozice hyperbarické oxygenoterapie (HBO). Na urgentním příjmu (UP, emergency) MNO byla přijata v 14,40.

## **Paraklinická výšetření**

Vstupně bylo provedeno CT mozku se známkami mozkového edému zejména na konvexitách, CTA mozkových tepen bez určitých patologických změn. Dle CT plic a mediastina byly plíce rozvinuté, oboustranně se zobrazují mnohočetné uzly, kterých kaudálně přibývá a mají až splývavý charakter. V úrovni aortálního oblouku se zobrazují opacity typu mléčného skla, nápadnější vpravo, pravděpodobně v rámci acinózního postižení plicního parenchymu při vyplnění alveolů tekutinou.

## **Laboratorní výsledky**

Z krevních testů provedených po přijetí na UP MNO byly získány následující výsledky: arteriální laktát 4,9 mmol/l, pH 7,16, BD -13,2, akt.HC03 16,7 mmol/l, pO<sub>2</sub> 5,67 kPa (při FiO<sub>2</sub> 1,00), CO<sub>2</sub> 5,92, Na 131, Cl 100, osmo 277, urea 4,6, gly 7,9, Hb 153, htk 0,483, troponin I (TnI) nebyl

vyšetřen. Některé odběry bylo nutné provést opakováně a některé hodnoty nebylo možné zjistit pro hemolýzu séra.

## Průběh HBO

Byla provedena urgentní léčba HBO dle tabulky US NAVY 6, od 16.17 – 21.20, celková doba trvání léčby byla 303 minut (obr. č. 1). Před jejím zahájením byla provedena ORL lékařem oboustranná paracentéza. Během HBO byla pacientka farmakologicky tlumena a relaxována, na umělé plicní ventilaci s režimem řízené ventilace, VT 550ml, DF 12/min, PEEP 8cmH20, FiO2 1.0. Po celou dobu byla pulzní saturace hemoglobinu kyslíkem neměřitelná vzhledem k podchlazení s TT 32,5-33,2 st. C, oběhově byla pacientka stabilizovaná, bez nutnosti vazopresorické podpory, na ekg bez akutních ischemických změn, přetrvala hematurie, ale jinak bez dalších krvácivých projevů. HBO proběhla bez komplikací. Podaná terapie: 4,2% NaHC03 100ml iv, Ringerfundin 300ml/h kont., Midazolam 50mg/50ml FR ivkont 5mg/h plus bolusy Midazolam 4x5mg iv, Propofol bolusově 130mg iv, Tracrium celkově 80mg iv. Při ukončení pobytu v komoře byla oběhově stabilizovaná, TK 105/70, SR 85/min, DF 12/min, Sp02 neměřitelná, TT 34,1 st C. Pacientka přeložena k další terapii na oddělení ARO.

## Průběh hospitalizace na oddělení ARO, metabolické JIP a interního oddělení

Po přijetí na oddělení ARO byla hypotermní, v laktátové acidoze, s těžkou oxygenační pořuchou plic. Byla analgosedována, relaxována, protektivně ventilirována, pozvolna zahřívána, podávána antiedematozní terapie, upravováno vnitřní prostředí, postupně nasazeny vazopresory ve střední dávce zřejmě v souvislosti s postupným zahříváním a uvolněním původně centralizovaného oběhu.



obr. č. 1 - průběh léčby v hyperbarické komoře

Od 6. 11. dochází k pozvolnému zlepšování oxygenace, na kontrolním CT mozku je patrná regrese mozkového edému, je pouze patrný náznak hypodenzit v bílé hmotě O-P bilaterálně. Na kontrolním CT plic 6. 11. jsou patrné hutnější alveolární kondenzace v dorzálních a dorzobazálních částech obou dolních laloků v rámci jejich splývání, nejsou vzdušné segmen-

tární bronchy pro S 9/10 vlevo. Na RTG plic 6. 11. nejsou známky pneumotoraxu po kanylace centrálního žilního systému (pravá horní dutá žíla), cévka a endotracheální kanya v obvyklé poloze, rozsah nepravidelných splývavých drobně nodulárních zastření plicních polí dolních a středních je podobný jako na CT plic a odpovídá edematozním změnám ev. ARDS (obr. č. 2). Dochází k změlení farmakologického tlumení a je zahájeno odpojování od ventilátoru (weaning). V průběhu provedené fibrobronchoskopie je patrná oboustranná vydatná žlutohnědá sekrece, vpravo v ústí dolního lobárního bronchu patrný bělavý, na distální straně šedý útvar - cizí těleso. Následně bylo 7. 11. na bronchoskopickém sálku plicní kliniky FN Ostrava provedeno vyšetření rigidní bronchoskopí s vytážením cizího tělesa, kterým byl oříšek. Pro vystup zánětlivých markerů došlo ke změně v podávání ATB (Fortum, Ciprin, Metronidazol, Fluconazol), systémově byl podáván SoluMedrol 20mg co 8h. Na echokardiografickém vyšetření byla patrná dobrá systolická funkce LK s EF LK 70%, střední dilatace pravé komory, ale s dobrou kontraktilitou, bez známek hypervolémie, bez dilatace dolní duté žíly. Neurologicky byla pacientka v kontaktu, se spontánní hybností všech končetin, bez lateralizace, výrazně se zlepšily plicní funkce, obnovila se funkce GIT, 8. 11. byla extubována. Dne 9. 11. 2014 byla přeložena na metabolickou JIP. Zde byl další průběh bez obtíží a přetrvala amnézie na příhodu. Poté byla dne 14. 11. přeložena na standardní interní oddělení a následně bez subjektivních potíží propuštěna do domácí péče.

## Diskuze

### Obecné poznámky k pojmu nehoda a potápěčská nehoda

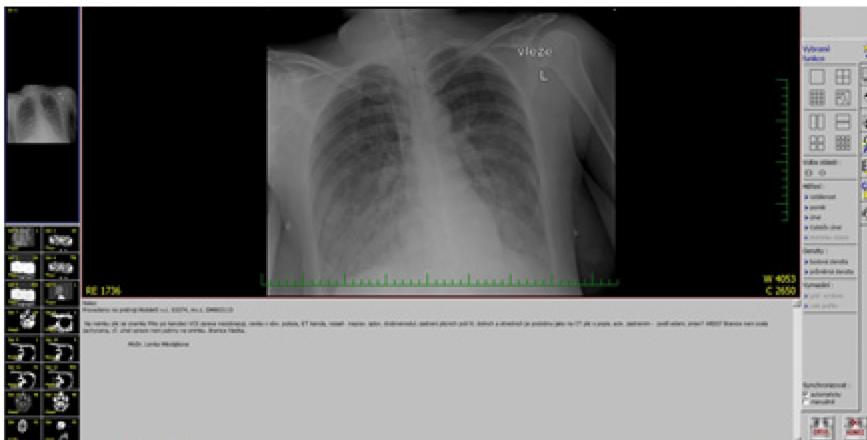
V jedné z recentních odborných prací (Buzzacott, 2015) je diskutován význam pojmu nehoda, resp. potápěčská nehoda s tím, že v souvislosti s potápěním se zpravidla nejedná o zcela přesný a vystihující název. Pojem „nehoda“ je totiž nejpřesněji definován v právním smyslu. Používá se zpravidla pro události, ke kterým dojde bez zásahu člověka. Je to událost, kterou nezpůsobí žádná osoba nebo které nelze zabránit, jako je např. tornádo, tsunami, nebo sněhové bouře. Např. v pokynech pro autory časopisu British Medical Journal se od roku 1993 doporučuje vyvarovat používání pojmu nehoda. Od roku 2004 za značných finančních nákladů byl změněn název mnoha oddělení v britských nemocnicích systému NHS z „Accident and Emergency Departments“ na „Emergency Departments“. V přehledu úmrtí potápěčů během jeskynního potápění se ve většině případů jednalo o jasné porušení stanovených bezpečnostních procedur. Počet „nehod“, kde například došlo k nečekanému zhroucení jeskyně, byl minimální. Je možné, že v budoucnu bude používána jiná terminologie, než „potápěčská nehoda“, např. upřesňující termín, jako např. potápěčské poranění, dekompresní poranění apod.

### Okolnosti a podmínky v době nehody, použitá potápěčská výstroj

Doprovod tvořili 2 zkušení potápěči s kvalifikací P\*\*, 1 instruktor potápění I\*\*, člen první pomoci, rescue instruktor a administrátor kyslíku. Počasí bylo skoro jasné, teplota vzduchu 10 °C, teplota vody na povrchu 10 °C, teplota vody v hloubce 20 m byla 6 °C. Viditelnost v hloubce byla více než 10 m. Výstroj postižené tvořil mokrý neoprenový oblek síly 2x7 mm, kompenzátor vztlaku typu polokřídlo, tlaková láhev 15 l, 2 na sobě nezávislé plicní automatiky zn. Poseidon do studené vody. Z výpovědi svědků je zřejmé, že poškozená v průběhu ponoru používala k dýchání obě plicní automatiky.

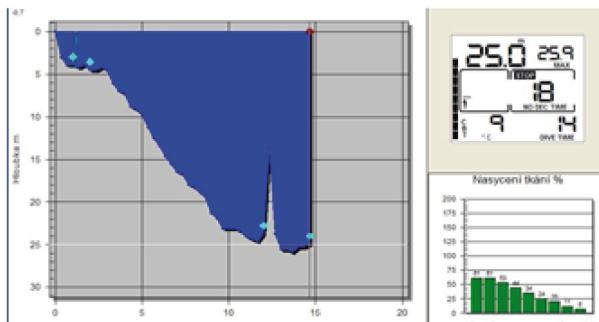
## Popis průběhu nehody svědkem nehody

Vzhledem k tomu, že postižená má na okolnosti nehody kompletní amnézii, předkládáme popis nehody tak, jak jej zaznamenali svědci. Ponor zpočátku probíhal podle plánu až do dosažení hloubky 23 m. Zde postižená trochu poklesla ke dnu. Tento pokles chtěla vykompenzovat přifouknutím kompenzátoru vztlaku. Při nafukování zřejmě zavadila inflátorem o hadici 2. stupně plicní automatiky. Náustek 2. stupně se jí vzpríčil v ústech a tím došlo ke vdechnutí vody. Došlo k panice, zapomněla pustit inflátor, tím došlo k přefouknutí kompenzátoru a neří



obr. č. 2 - RTG plíc z 6.11. po zavedení centrálního žilního katuetu

zenému rychlému výstupu. Při rychlém výstupu podvědomě našla záložní automatiku a vložila si ji do úst, začala vypouštět vzduch z kompenzátoru. Mezitím však docházelo k dalšímu vdechování vody a došlo ke ztrátě vědomí. Postižená pak s prázdným kompenzátem vztlaku a v bezvědomí spadla zpět na dno do hloubky 26 m (viz obr. č. 3. graf ponoru postižené), kde ji našel její buddy. Ihned s ní zahájil výstup na hladinu, kde ji pak táhnul asi 50m ke břehu. Tyto operace trvaly asi 5 minut. Mezitím se vynořili i ostatní kolegové a pospíchali poskytnout první pomoc. Při ohledání byla Radka v bezvědomí, nedýchala a měla srdeční zástavu. Byla jí poskytnuta KPR s prvotním vyčištěním úst od zvratku a pěny. Asi po 5 minutách postižená začala chrivě dýchat sama a byl nahmatán slabý srdeční pulz. Postižená pak byla uložena do zotavovací polohy. Byla zavolána zdravotnická pomoc, která dorazila asi po 10 minutách.



Obr. č. 3. - graf ponoru postižené

## Závěry vyšetřování nehody příslušnými orgány

Jako nejpravděpodobnější příčina nehody se jeví souhrn a působení vnějších a vnitřních činitelů, které u málo zkušené potápěčky vedly ke stresu s následnou neschopností vyřešit krizovou situaci, vzniklou s největší pravděpodobností vdechnutím cizího tělesa (oříšku).

Cizí těleso, které bylo dle lékařské zprávy nalezeno v plicích poškozené, mohlo být poškozenou vdechnuto poté, co se oříšek dostal do jedné z plícních automatik poškozené již před ponorem a to buď v průběhu dosstrojování na hladině, popř. v případě jejího „pádu“ na dno hned v úvodu ponoru. Teoreticky mohlo dojít k ulpění mokrého „oříšku“ ve 2. stupni jednoho či druhého regulátoru s následným uvolněním – stržením vlivem proudění vzduchu s jeho následným vdechnutím. Vyhodnocením všech dostupných materiálů, rozborem výpovědí svědků a ohledáním zajištěných a vydaných věcí nelze usoudit, že by se v tomto případě jednalo o podezření na cizí zavinění, které lze v tomto případě s jistotou zcela vyloučit.

## Poznámky k našemu případu

Tento případ závažné potápěčské nehody ukazuje, jak náročné může být ošetření podobných stavů v přednemocniční i klinické péči. Jedná se o urgentní stavy, mnohdy vyhrocené situace v obtížném terénu. Velký význam hrají přesné informace, popisující okolnosti nehody, podané jak svědky, tak následně předávané jednotlivými zdravotníky. Především přesný sled událostí, detailey ponoru, použitá výstroj, dýchací směs apod. hrají někdy klíčovou roli. V některých případech tyto informace není v aktuální situaci možné získat, jako např. v tomto případě hloubku, do které se postižená vynořila, než opět spadla až na dno. V primárním telefonickém rozhovoru bylo leteckou záchrannou službou referováno podezření na barotrauma (s možnou embolii do mozkových tepen). Z toho důvodu také bylo kontaktováno právě pracoviště hyperbarické medicíny v MNO. Popisovaný průběh ponoru, opakované zanoření a vynoření, porucha vědomí, zástava dechu a pravděpodobně i oběhu bezprostředně po vynoření pro tuto možnost jednoznačně svědčil. Vzhledem k tomu byla pacientka urychlěně směřována k provedení HBO v režimu tabulky US NAVY 6. Tepřve další okolnosti, některé výsledky laboratoře (hemolýza), CTA mozku, CT plíc, plíc a zejména osobní rozhovor ošetřujícího lékaře ARO se svědkem nehody, který vzhledem k výslechu na policii dorazil až kolem 22.00, svědčí spíše pro skutečnost, že došlo primárně k aspiraci cizího předmětu a vody do plíc, bezvědomí a následně tonutí.

## Závěr

Neexistuje žádný společný mechanismus poranění u závažné potápěčské nehody, resp. existuje více druhů poruch přicházejících v úvahu v souvislosti s těmito poraněními. Potápěčská medicína není celostátně součástí pregraduaálního zdravotnického vzdělávání, což může vést k nejistotě a v některých případech může být příčinou chybňých postupů a neadekvátní terapie potápěčských incidentů. Lékaři urgentní medicíny budou na místě nehody pravděpodobně prvními odborníky v kontaktu se zraněným potápěčem. Měli by mít určité penzum znalostí, které by spolu s informacemi získanými z primárního vyšetření zraněného potápěče měly vést k správnému posouzení stavu a následnému směřování k optimální léčbě. Situaci zhoršuje také nedostatečná dostupnost hyperbarických komor v ČR, zejména pro ošetření kriticky nemocných pacientů se selhávajícími životními funkciemi, vyžadujícími intenzivní péči během léčby HBO.

## **Referenční seznam**

- Buzzacott, P. (2015) Diving injuries are (usually) no accident. *Diving Hyperb Med.* Mar;45(1):61.
- Eichhorn, L & Leyk, D. (2015). Diving medicine in clinical practice. *Dtsch Arztebl Int.* Feb 27;112(9):147-57; quiz 158. doi: 10.3238/arztebl.2015.0147.
- Marroni, A., Cronjé, F., Meintjes, J., & Cali-Corleo R. (2006). Dysbaric illness. In: D. Mathieu. *Handbook on Hyperbaric Medicine*. Dordrecht: Springer. p. 173–216.
- Novotný, Š. & Pácová, H. (2012). Doporučený postup diagnostiky a léčby potápěčské dekom-presní nehody. *Urgentní medicína* 2, 15-21.

# PĚTAČTYŘICÁTÉ VÝROČÍ KLINICKÉHO VYUŽITÍ HYPERBAROXIE V PLZNI

Emmerová M.<sup>1</sup>, Poklopová Z.<sup>1</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>, Hajšmanová M.<sup>1</sup>, Malá A.<sup>1</sup>, Suchý D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultní nemocnice Plzeň, Oddělení klinické farmakologie, Česká republika

<sup>2</sup> Biofyzikální ústav Lékařské fakulty UK v Plzni, Česká republika

## Abstrakt

Autoři sdělení předkládají z různých hledisek 45 –letou historii hyperbarické medicíny v Plzni, která se odvídela na dvou pracovištích Fakultní nemocnice Plzeň, a to v rámci I. interní kliniky (1970 – 2015) a na Oddělení klinické farmakologie (OKF) (1995 – 2015). V uvedených časových etapách bylo do konce roku 2014 léčeno na obou pracovištích celkem 7 988 nemocných, z toho z akutní indikace 5 078, při celkovém počtu 51 592 léčebných expozic. V rámci I. interní kliniky bylo z celkového uvedeného počtu léčeno 5 396 nemocných (31 387 expozic), přičemž akutních indikací bylo celkem 4 094, s převahou otrav oxidem uhelnatým (do roku 1995). Na OKF bylo v uplynulých 19 letech léčeno 2592 nemocných, z toho akutních bylo 984 (20 205 expozic). Ačkoliv starší barokomora byla na jaře 2015 odstavena z provozu, existenci hyperbaroxie v Plzni zajišťuje v nepřetržitém provozu mladší, modernizovaná barokomora na OKF. Nejpozději v roce 2020 bude vybavena novou barokomorou plzeňské traumatologické centrum, což je závazným standardem pro tuto odbornost. Je uváděn slovenský trend, kde v průběhu posledních 10 let došlo k výraznému nárůstu počtu léčebných barokomor v různých zdravotnických zařízeních Slovenské republiky.

**Klíčová slova:** hyperbaroxie, Hadravského ústenka, otrava oxidem uhelnatým, expozice, indikace

## 45TH ANNIVERSARY OF CLINICAL EXPLOIT OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY IN PILSEN

Emmerová M.<sup>1</sup>, Poklopová Z.<sup>1</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>, Hajšmanová M.<sup>1</sup>, Malá A.<sup>1</sup>, Suchý D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Teaching Hospital, Department of Clinical Pharmacology, Pilsen, Czech Republic

<sup>2</sup> Institute of Biophysics, Faculty of Medicine, Charles University, Pilsen, Czech Republic

## Abstract

The authors offer a 45-year-old history of hyperbaric medicine in Pilsen from different points of view. It was operating in two different departments of the Faculty Hospital in Pilsen – as part of the I. Internal Clinic (1970 – 2015) and Department of Clinical Pharmacology (OKF) (1995–2015). Altogether both departments took care of 7988 patients until the end of 2014, out of that 5078 patients were acute indications and total of 51 592 medical expositions. I.Internal Clinic took care of 5 396 patients out of the total number (31 387 expositions). 4 094 acute indications with prevailing number of CO poisoning (till 1995). OKF took care of 2 592 patients in the last 19 years, out of which 984 were acute (20 205 expositions). Though the older hyperbaric chamber was put out of order in spring 2015, hyperbaroxy in Pilsen is ensured by the younger modernised chamber in OKF. In 2020 the latest, Pilsner Traumatology Centre will be equipped with a new hyperbaric chamber as it is a necessary standard for this specialisation. Slovakian trend shows a significant rise in number of hyperbaric chambers in the last 10 years throughout different medical institutions in Slovak Republic.

**Keywords:** hyperbaroxy, Hadravsky's mask, CO poisoning, exposition, indication

Počátkem letošního roku tomu bylo 45 roků, co byl na jednomístné léčebné tlakové komoře I.interní kliniky FN Plzeň-Bory zahájen rutinní provoz, a to bez zřetele na tehdejší vymezenou spádovou oblast.

Jednomístná léčebná barokomora (vyrobily Závody automatizace a mechanizace OKD v Ostravě) byla tehdy instalována v r. 1968 z podnětu odborného asistenta MUDr. Rudolfa Barcalu, CSc. na I. interní klinice FN Plzeň. Od samého počátku byla do pracovního minitýmu zakladatelů hyperbaroxie v Plzni zařazena MUDr. Milada Emmerová.

Přívod a aplikaci medicinálního kyslíku, což mělo fungovat v podmínkách přetlaku, vyřešil externí spolupracovník MUDr. Milan Hadravský, odborný asistent Biofyzikálního ústavu Lékařské fakulty UK v Plzni. Patentovaná Hadravského ústenka představovala v praxi sofistikovaný přístup lékaře a potápěče, oplyvajícího i manuální zručností. Zrodil se zdravotnický prostředek na principu potápěcké plícní automatiky, který umožnil snadnou inhalaci 100% kyslíku v podmínkách přetlaku v barokomoře (Hadravský et al., 1974).

Personální vybavení by nemohlo být dokonalé bez specializovaných zdravotních sester, které stejně jako lékaři zabezpečovaly využívání léčebné barokomory v nepřetržitém provozu formou odpoledních a nočních domácích příslužeb, resp. služeb v akutních indikacích.

Plzeň se tak počátkem roku 1970 stala 4. městem v tehdejším Československu, které mohlo provozovat léčbu kyslíkem v přetlaku, uznávanou v mnoha zdravotnických a potápěckých centrech na západ i na východ od nás, a to jak v rámci Evropy (Velká Británie, Belgie, Rusko), tak i v mnoha centrech v USA, Kanadě a v Japonsku.

Z klinických hledisek bylo využíváno především zkušeností ostravského pracoviště v Městské nemocnici na Fifejdách, kde byla instalována v r. 1965 z podnětu generálního ředitele OKD pana Misky největší léčebná barokomora v republice. Toto pracoviště publikovalo řadu klinických poznatků, které sloužily, a i dodnes stále slouží, jako jeden z vědomostních zdrojů pro ostatní, postupně vznikající pracoviště.

Ve stávajících zařízeních v rámci ČR bylo také využíváno teoretických znalostí i zkušeností Ústavu leteckého zdravotnictví ve VN Praha – Střešovice, v čele s MUDr. Vladimírem Doležalem, CSc.

Zásluhou Plzeňana docenta MUDr. Rudolfa Barcalu, CSc. a MUDr. Vladimíra Doležala, CSc. z Prahy byla v roce 1974 založena Odborná pracovní skupina Tlakové komory v rámci Československého zdravotnictví, která se stala zastřešující organizací nejen pro potřeby československého zdravotnictví, ale i pro potápěckou praxi profesionálů i amatérů v potápění. Uskutečňováním pravidelných konferencí na různých místech v republice, kde byly přednášeny klinické zkušenosti, nové teoretické poznatky, organizační a bezpečnostní principy baromedicíny a oxygenoterapie (Hadravský et al., 1976), ale hlavně i léčebná efektivita samotné hyperbaroxie, představovaly rostoucí význam nového interdisciplinárního klinického oboru. Pravidelné vydávání sborníků z těchto konferencí představuje zajišťování dalších výukových materiálů pro pregraduální a hlavně postgraduální vzdělávání zainteresovaných pracovníků. V r. 1992 vydali plzeňští odborníci v hyperbaroxii studijní skripta (Barcal et al., 1992), prvního druhu v Československu, jako jediný oficiální výukový materiál především pro studenty medicíny. V roce 2000 byla vydána monografie pod názvem Hyperbarie a hyperbarická oxygenoterapie (Barcal et al., 2000).

Po rozpadu Československa došlo v roce 1995 ke vzniku Asociace pracovníků v hyperbarické medicíně, se zachováním kontinuity seminářů a organizačních postupů v rámci České republiky.

V roce 2004 byla pak ustavena Česká společnost pro hyperbarickou a leteckou medicínu při

České lékařské společnosti JEP (předseda MUDr. Michal Hájek).

Nová, lochotínská část FN Plzeň, byla vybavena v r. 1985 novou, střední barokomorou (výrobcem prototypu byla firma Ferox Děčín).

V roce 1995 bylo v Plzni vybaveno novou střední barokomorou (vyrobily Jaderné strojírny v Plzni – Třemošné dle projektu docenta Hadravského) další pracoviště, a to Oddělení klinické farmakologie FN Plzeň - Bory (tehdejší přednosta doc. MUDr. Ota Mayer, CSc., současný přednosta prim. MUDr. David Suchý, PhD.). Toto druhé plzeňské pracoviště má tedy také letos výročí, tj. 20 roků činnosti. Tamější střední barokomora prošla v letošním roce rekonstrukcí, včetně technických a bezpečnostních opatření, a tak se stala jediným pracovištěm v Plzeňském kraji, které zajišťuje 24-hodinový nepřetržitý provoz, navíc s lůžkovým zázemím a s dostatečným personálním vybavením.

Na druhé straně byla v březnu 2015 odstraněna z provozu starší barokomora ve FN Plzeň – Lochotín, která dovršila 30. výročí existence.

Tlaková nádoba této barokomory je sice stále vyhovující, ale nepokračovala standardní protipožární opatření, a komora nebyla vybavována potřebnou přídatnou zdravotnickou technikou. Po stránce personální rovněž nebylo pracoviště dostatečně vybaveno přes opakována upozorňování ze strany vedoucí lékařky doc. MUDr. Milady Emmerové, CSc. Ta byla v roce 1996 zvolena do Parlamentu České republiky, a proto se stala pouze organizačním a odborným gestorem tohoto pracoviště. Jiný lékař nebyl žádným vedením I. interní kliniky ustaven pro tuto náročnou praktickou, odbornou, organizační, výzkumnou a publikační činnost se všemi jejími atributy.

I když se zdravotníci v oboru hyperbarické medicíny v Plzni zabývají celým spektrem indikací pro tento typ léčby, jejich nejčastější indikací byly do odstranění svítiplyn z distribuční sítě v r. 1995 různé stupně otrav oxidem uhelnatým. S přechodem na užívání zemního plynu těchto otrav výrazně ubylo, ale přesto je toto akutní onemocnění, léčené v jediném zdravotnickém zařízení, početně na 1. místě v celosvětových statistikách (více než 3500 případů otrav CO z celkového počtu takřka 8 tisíc nemocných z obou pracovišť FN Plzeň od roku 1970 dosud). Není proto náhodou, že na toto téma došlo k produkci ojedinělých publikací, např. o významu komplexní intenzívní péče u těchto intoxikací anebo změny elektrokardiogramu jako objektivního ukazatele prospěšnosti rychlé eliminace oxidu uhelnatého z vazby na hemoglobin a tím i zkrácení období významné hypoxie, a to díky užití hyperbaroxie.

Obě pracoviště plzeňských barokomor se kromě otrav oxidem uhelnatým věnovala léčbě polytraumat s komplikující anaerobní infekcí, dekompresní nemoci potápěčů, otoku mozku různé etiologie, léčení potraumatického apalického syndromu, dále pak léčbě diabetické nohy, kožních defektů žilní nebo smíšené etiologie, přihojování kožních transplantátů, refraktérní osteomyelitidě, Sudeckově dystrofii (algoneurodystrofii), postradiačním poškozením, ale i významně početně převažující náhlé hluchotě a tinnitus (Emmerová et al., 1989; Emmerová et al., 1998; Emmerová et al., 1993; Emmerová et al., 2014; Hadravský et al., 1984).

Závěrem je nutno konstatovat, že je v plánu nového vedení FN Plzeň (ředitel MUDr. Václav Šimánek, PhD.) výstavba nového pavilonu chirurgických oborů ve FN Lochotín, kam je plánována instalace nové, moderní barokomory. Ta má být povinnou výbavou každého z traumacenter v ČR. Tím se opět potvrzuje, že využití kyslíku v přetlaku je užitečné v nejrůznějších indikacích, neboť nejen hypoxii takřka jakékoli etiologie lze touto metodou účinně likvidovat. Rozsáhlá praktická, výzkumná, organizační a publikační činnost obou plzeňských pracovišť dokumentuje v konsenzu se světovými autory (např. z Kanady, USA, Ruska, Japonska), jaký význam má pro život a zdraví člověka aplikace kyslíku v přetlaku, a to z mnoha aspektů. Z toho

i vyplývá, že zdravotníci, kteří o principech této léčby a o jejích úspěších pochybují, dokazují nedostatek znalostí. Věřme však, že bude přibývat spíše těch, kteří prokazují v klinické praxi a v teoretických poznatcích, že jde o léčebný proces v mnoha případech těžko nahraditelný (Barcal et al., 1974). V posledních 10 letech jsou vybavována barokomorami zdravotnická zařízení na Slovensku, což se v ČR bohužel zatím nerýsuje.

Zastaralá a vyřazená lochetínská barokomora bude umístěna nejspíše v plzeňské Techmanii (areál bývalé Škodovky), jako zajímavý exponát v nově založeném muzeu, které by se v režii OKF věnovalo problematice hyperbaroxie v celostátním měřítku. Tím nejlépe uctíme všechny zakladatele hyperbarické medicíny v České republice, z nichž mnozí již mezi námi nejsou... Jistě probudíme i zájem širší veřejnosti o tuto často opomíjenou léčebnou metodu, o které nejsou dostatečně informováni ani samotní zdravotníci. K tomu přispívá nejen nedostatečná výuka na lékařských fakultách v ČR, ale i málo míst v současných barokomorách, a tak je navozen bludný kruh..., který je nutno zastavit!

## Referenční seznam

Barcal, R., Emmerová, M., Hadravský, M., Schwarzová, K., Titman O. (1974) Sledování osob po intoxikaci CO, léčených inhalací kyslíku o vysokém parciálním tlaku. *Proceed. 2nd Intern. Industrial Environ. Neurol. Congress*, Praha, 218-223

Barcal, R., Emmerová, M., Hadravský, M. (1992). *Základy hyperbarické medicíny*. Univerzita Karlova Praha, vydavatelství Karolinum, I. vydání.

Barcal R., Emmerová M., Hadravský M. (2000). *Hyperbarie a hyperbarická oxygenoterapie*. Vydavatelství J. Kuna Plzeň.

Emmerová, M. (1989) *Komplexní intenzívní péče u osob s intoxikací oxidem uhelnatým*. Kandidátská dizertační práce, LF UK Praha.

Emmerová, M., Jirava, F. (1998). Je skutečně záhadou onemocnění veteránů z Perského závalu? *Praktický Lékař* 78 (7), 340 – 343.

Emmerová M. (1993). *Elektrokardiogram u akutní intoxikace oxidem uhelnatým*. Habilitační práce LF v Plzni, UK Praha.

Emmerová, M., Dejmek, J., Růžička, J., Krátký, M., Hajšmanová, M., Patejdlová, M., (2014). Akutní otravy oxidem uhelnatým po ukončení éry svítiplynu. *Pracovní Lékařství* 66 (2,3), 69 – 77.

Hadravský, M., Žalud, V., Barcal, R., Emmerová, M., Patočka, S., Hadravská, J., Sova, J. (1974). Nově vyvinuté přístroje pro oxygenoterapii. *Služba zdravotníkům* 15 (1), 44-47.

Hadravský, M., Barcal, R., Emmerová, M., Hausner, P., Krátký, M., Patočka, S., Štěrbák, M., Žalud, V. (1976). *Lékařsko – technické vybavení jednomístné přetlakové komory. konference o hyperbaroxii Odb. pracovní skupiny Tlakové komory ČSBkS při ČSAV*. Ostrava.

Hadravský, M., Barcal, R., Emmerová, M., Berková, E. (1984). Hyperbaroxie u objemově limitovaných tkání. *VII. konference o hyperbaroxii Odb. prac. skupiny Tlakové komory ČSBkS při ČSAV*, Martin.

# KRITICKÝ POHLED NA INDIKACI HYPERBARICKÉ OXYGENOTERAPIE U OTRAVY OXIDEM UHELNATÝM

Chvojka J.<sup>1</sup>, Dejmek J.<sup>2</sup>, Bolek L.<sup>2</sup>, Beneš J.<sup>2</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Zdravotnická záchranná služba Plzeňského kraje, Česká republika

<sup>2</sup> Ústav biofyziky, LFP UK, Plzeň, Česká republika

## Abstrakt

Otrava oxidem uhelnatým je v USA i Evropě nejčastější otravou. Může mít různorodé příznaky vedoucí k jejímu častému opomenuvání v diagnostice. I v případě jejích časných odhalení je terapeutické užití hyperbarického kyslíku (HBO) celosvětově spíše výjimečné.

Pro použití HBO svědčí přitom teorie patofyziologie otravy i data z experimentu. Bohužel, klinické studie zaměřené na důkaz efektu HBO u pacientů otrávených CO mají rozporuplné výsledky. Většina nefavorizuje HBO před normobarickou terapií, některé dokládají i negativní efekt. Příčinou mohou být nejednotné protokoly, rozmanitý časový interval použití HBO. Je možné, že HBO působí v určité fázi otravy i toxicicky a je třeba najít správný časový interval a správnou dávku kyslíku při jejím použití.

**Klíčová slova:** otrava oxidem uhelnatým, hyperbarický kyslík, normobarický kyslík

## CRITICAL ISSUE ON HYPERBARIC OXYGEN TREATMENT IN CARBON MONOXIDE POISONING

Chvojka J.<sup>1</sup>, Dejmek J.<sup>2</sup>, Bolek L.<sup>2</sup>, Beneš J.<sup>2</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Emergency Medical Service of the Pilsen Region, Czech Republic

<sup>2</sup> Institute of Biophysics, Faculty of Medicine, Charles University, Pilsen, Czech Republic

## Abstract

Carbon monoxide poisoning (CMP) is most often poisoning in Europe and USA. It has a variety of symptoms which causes failure of diagnosis. Even in the case of early detection is the therapeutic use of hyperbaric oxygen (HBO) globally rather exceptional. The treatment CMP by HBO is supported by pathophysiology of poisoning and data from the experiments. Unfortunately, clinical trials have uncertain results, some of them even reports worsening of CMP by HBO. Most of them are not biased in favor of HBO, comparing to normobaric oxygen therapy. It can be caused by different study protocols, different time interval from exposition to treatment. It is possible that HBO is even toxic in certain CMP phase, thus proper interval and proper oxygen dosage has to be founded.

**Keywords:** carbon monoxide poisoning, hyperbaric oxygen, normobaric oxygen

## Úvod

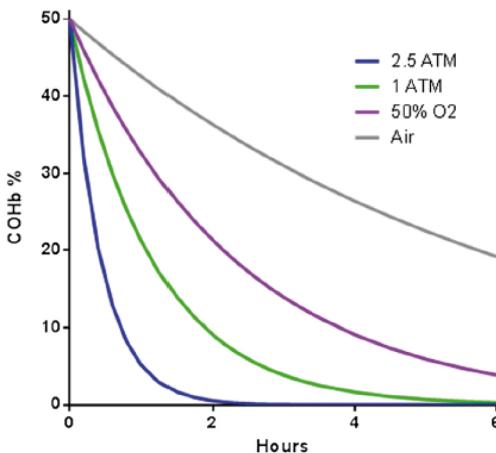
Cílem tohoto sdělení je ukázat, jak i při masovém výskytu otravy oxidem uhelnatým je minimálně využívána léčba hyperbarickým kyslíkem (HBO) a to až na výjimky celosvětově.

Lze získat údaje i z Asie, např. Hong Kongu, kde po publikování úspěšné sebevraždy v r. 1998 vdechováním zplodin z grilu s dřevěným uhlím náhle desetinásobně narostla incidence

otravy CO v suicidálním úmyslu tímto způsobem.

V USA i v Evropě je otrava oxidem uhelnatým nejčastější náhodnou otravou. V USA návštěvy pacientů na oddělení urgentního příjmu dosahuje desítek tisíc ročně (21 000, 50 000 – různě podle literárních zdrojů). Z tohoto velkého počtu pacientů je přitom ošetřeno hyperbarickým kyslíkem pouze několik stovek pacientů, tzn. léčba je poskytována na úrovni jednotek procent. V ČR podle údajů z VZP je hlášeno ročně asi 200 – 1000 otrav CO, přičinou smrti je přitom u 140-140 postižených ročně. Podle VZP se nejčastěji otrava vyskytuje v Karlových Varech, potom i v Karviné a v Praze až na čtvrtém místě v pořadí. Validnost těchto údajů si autoři (při znalosti příčin otravy CO jednoznačně související s hustotou aglomerace) dovolují napadnout. Příčinou takto zkreslených údajů je jistě problematická diagnostika otravy CO a to pro ne-specificické a různorodé příznaky choroby. Bez cíleného pátrání po chorobě a jejím vyloučení laboratorním vyšetřením bývá otrava CO často opomenuta a zaměněna za jiný chorobný stav. V žádném případě by se přitom otrava CO neměla podceňovat, a to vedle mortality i pro tzv. pozdní neurologické následky, které se rozvinou i týdeny po expozici a které mohou pacienta invalidizovat po celý zbytek života.

Základním léčebným opatřením je podání kyslíku, který eliminuje hodnotu karbonylhemoglobinu podle následujícího grafu na obrázku 1:



Obr. 1. – Poměr podaného kyslíku k hodnotě karbonylhemoglobinu

Přes nebezpečnost choroby je i v ČR léčba HBO opomíjena a autoři se ve sdělení pokusí ukázat proč.

## Metodika

Ve sdělení budeme prezentovat výsledky některých literárních zdrojů, a to zejména rozbor tzv. negativních studií, které nedokládají účinnost HBO u otravy CO, resp. dokládají dokonce i zhoršení stavu.

Raphael et al. (1989) sleduje soubor 629 pacientů, kteří se dostali do nemocnice do 12 hodin od expozice. Porovnával skupinu pacientů bez ztráty vědomí, léčených 6 hod normobarickým kyslíkem (NBO) se skupinou pacientů léčených HBO 2 hod s následnou 4 hod HBO terapií. Po

1 měsíci sledování bylo vyléčeno 66 % resp. 68 % pacientů, skupiny se tedy významně nelišily. Dále u pacientů s iniciální poruchou vědomí byl porovnáván efekt 1 expozice HBO versus 2 expozice HBO, následováno NBO terapií v obou skupinách. Po 1 měsíčním vyhodnocení byli pacienti vyléčeni v 54 resp. v 52 %, tzn. ani zde se skupiny nelišily.

Scheinkestel et al. (1999) publikoval na souboru 191 pacientů studii, kdy léčil skupinu 3 dny po sobě, v jedné NBO 100 minut denně a ve druhé HBO skupině 60 minut 2,8 ATA denně. Mezi léčením skupiny dostávaly kyslík maskou. Po 1 měsíčním vyhodnocení došlo u HBO skupiny ke zhoršení neuropsychického stavu, kdy pacienti vykazovali horší výsledky v učení i v některých jiných testech.

Annane et al. (2011) publikoval na souboru 385 pacientů dvě větve studie. V jedné větvi byli pacienti po přechodném stavu bezvědomí randomizováni k 6 hod NBO versus 4 hod NBO následovanou 2 hod HBO. Ve druhé větvi, u pacientů v bezvědomí při příjmu, byli randomizováni k léčbě 4 hod NBO následovanou 2 hod HBO versus 4 hod NBO následovanou dvěma expozicemi HBO. Po 1 měsíčním sledování ani u jedné větve nevyšel rozdíl podporující HBO, ve skupině se dvěma expozicemi došlo dokonce ke zhoršení stavu.

Vedle těchto negativních studií existují studie tvrdící opak.

Např. Weaver et al. (2002) ukázal na pacientech trpících otravou CO, které randomizoval do skupiny 3 expozice HBO během 24 hodin a do skupiny pouze s NBO, že v HBO skupině bylo po 6 týdenních sledování pouze 25 procent pacientů s neurologickým postižením versus 46 procent v HBO skupině. Lepší výsledky vykazovala HBO skupina i po 12 měsíčním sledování.

## Diskuze

V rámci tohoto sdělení nelze dokázat prospěšnost HBO u otravy CO. Všechny negativní studie jsou kritizovatelné pro nedostatky v metodice. Ani dvě studie nepoužívaly tentýž protokol léčby HBO, což je také možná jednou z příčin těchto rozporuplných výsledků. Studie měly nedostatky v zařazování pacientů, nehomogenitě souborů s odlišným výskytem komatózních, nestandardizovaných neuropsychických testech aj.

Tzv. Weaverův protokol, tj. 3 HBO během 24 hodin, první zpočátku na vyšším tlaku 3 ATA 50 min a pak snížení na 2 ATA, stejně tak i u následujících expozic, nebyl užitý u žádné jiné studie (Weaver at al., 2002).

Problémy mohou být vysvětlitelné i toxicitou kyslíku pro mozek, pokud byla HBO užita u těžce otrávených CO po 4 hodinách od expozice. Je možné, že se negativně podílí čas od expozice spolu s vysokou dávkou kyslíku. Je proto pravděpodobné, že HBO by mohla být prospěšná pouze v počátku otravy a potom až s jistým časovým zpožděním (Stoler, 2007).

Jednotlivé studie byly vzájemně porovnávány i v metaanalýzách. Uznávaná Cochrane databáze to ukazuje na analýze sedmi studií s různou kvalitou metodiky (Buckley et al., 2011). Jedna byla vyloučena pro nevhodnocení výsledků. Zbylých šest studií hodnotilo 1360 pacientů, dvě prokázaly efekt HBO – redukci neurologického postižení u kontroly po 1 měsíci, zatímco zbylé čtyři studie to neprokázaly. Souhrnná statistická analýza bohužel opět neprokázala benefit HBO (odds ratio neurologického postižení 0,78). Cochrane uvádí, že všechny studie, resp. jejich vzájemné porovnávání, je však tradičně zatíženo chybou – nejednotnou metodikou zařazovacích kritérií, rozdíly v protokolech HBO. I pozitivní studie jsou kritizované pro neúplnou statistickou analýzu, zdánlivý posun v primární úspěšnosti, jejich

předčasné ukončení pro pozitivní efekt.

Stávající studie nedokazují, zda použití hyperbarického kyslíku u otravy CO snižuje incidenci neurologického deficitu pacientů. Další výzkum řešící odpověď na otázky je žádoucí.

*Práce byla podpořena projekty Programem rozvoje vědních oborů Karlovy Univerzity (projekt P36) a „Biomedicínské centrum Lékařské fakulty v Plzni“, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0076.*

## Referenční seznam

Annane D, Chadda K, Gajdos P, et al. (2011). Hyperbaric oxygen therapy for acute domestic carbon monoxide poisoning: two randomised controlled trials. *Care Med*(37): 486-492.

Buckley, N. A., Juurlink, D. N., Isbister, G., Bennett, M. H., & Lavonas, E. J. (2011). Hyperbaric oxygen for carbon monoxide poisoning. *Cochrane Database Syst Rev*(4)

Raphael J, Elkharrat D, Jars-Guincestre M, et al. (1989). Trial of normobaric and hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide intoxication. *Lancet*(2): 414-419.

Scheinkestel CD, Bailey M, Myles PS, et al. (1999). Hyperbaric or normobaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning: A randomised controlled clinical trial. *Med J Aust*(170): 203– 210.

Stoller KP. (2007). Hyperbaric oxygen and carbon monoxide poisoning: a critical review, *Neurological Research*(29): 146-155.

Weaver LK, Hopkins RO, Chan KJ, et al. (2002). Hyperbaric oxygen for acute carbon monoxide poisoning. *N Engl J Med*(347): 1057– 1067.

# **DESET LET PROVOZU PRACOVÍŠTĚ HYPERBARICKÉ OXYGENOTERAPIE V REHABILITAČNÍM ÚSTAVU HOSTINNÉ STRUČNÝ PŘEHLED VÝSLEDKŮ A SÉRIE PŘÍPADŮ**

<sup>1</sup> Zub D., <sup>1</sup> Svoboda J., <sup>1</sup> Vitoušková A., <sup>1</sup> Svobodová K., <sup>2,3</sup> Hájek M.

<sup>1</sup> Rehabilitační ústav Hostinné, Česká republika

<sup>2</sup> Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice Ostrava, Česká republika

<sup>3</sup> Katedra biomedicínských oborů, LF Ostravské univerzity v Ostravě, Česká republika

## **Abstrakt**

Rehabilitační ústav s dostupností hyperbarické oxygenoterapie ve vlastním hyperbarickém zařízení je unikátní a zatím ne zcela běžná záležitost v ČR ani v Evropě. V některých zemích, např. v Číně, jsou hyperbarická zařízení naprostě běžnou součástí vybavení nemocničních oddělení léčebné rehabilitace. Kombinace těchto dvou metod se zde běžně používá k prospěchu nemocných zejména po traumatech pohybového ústrojí, u patologických stavů CNS, po vysokých amputacích apod. Součástí tohoto sdělení je přehled pacientů léčených v období deseti let a přehled léčebných výsledků u jednotlivých diagnóz. Závěrem je představena série zajímavých případů.

**Klíčová slova:** hyperbarická oxygenoterapie, léčebná rehabilitace, fyzioterapie

## **TEN YEARS OF OPERATION OF DEPARTMENT OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY IN THE REHABILITATION INSTITUTE HOSTINNÉ A BRIEF OVERVIEW OF THE RESULTS AND CASE SERIES**

<sup>1</sup> Zub D., <sup>1</sup> Svoboda J., <sup>1</sup> Vitoušková A., <sup>1</sup> Svobodová K., <sup>2,3</sup> Hájek M.

<sup>1</sup> Rehabilitation Institute Hostinné, Czech Republic

<sup>2</sup> Centre of Hyperbaric Medicine, Municipal Hospital of Ostrava, Czech Republic

<sup>3</sup> Chair of Biomedical Sciences, Medical Faculty, University of Ostrava, Czech Republic

## **Abstract**

Rehabilitation institute with the availability of hyperbaric oxygen therapy within own hyperbaric facility is unique and yet not quite common affair in the Czech Republic and Europe as well. In some countries, like China is, there are hospitals with departments of rehabilitation, where hyperbaric facilities are regular part of its medical equipment. The combination of these two methods are commonly used here for the benefit of patients, especially after the traumas of the musculoskeletal system, with CNS pathologies, after high amputations etc. This paper is an overview of the patients treated in the period of ten years and an overview of treatment results among different diagnoses. Finally, some interesting cases are introduced.

**Keywords:** hyperbaric oxygen therapy, rehabilitation, physiotherapy

## **Historie ústavu**

Historie ústavu v Hostinném začala v roce 1890, kdy byla nemocnice po tříleté výstavbě uvedena do provozu. V té době zde bylo umístěno celkově 135 lůžek na oddělení interním, chirurgickém a na porodnici, navíc zde byla i separovaná oddělení infekce a TBC. Až do 2.

světové války zde sloužily sestry řádu sv. Karla Boromejského. V průběhu 2. světové války se nemocnice postupně orientovala na léčebnu dlouhodobě nemocných, zejména na oblast respiračních onemocnění vč. TBC. Od roku 1950 je registrována jako Státní plicní léčebna, a takto také fungovala celých 20 let. Poté se z ní stala léčebna dlouhodobě nemocných. Konečně v roce 2004, po rozsáhlé rekonstrukci, dostavbě a personálních změnách, získala oficiálně statut Rehabilitačního ústavu (Zub et al., 2011). Zařízení poskytuje léčebnou rehabilitaci v lůžkovém zařízení v nepetrzitém provozu a ambulantní fyzioterapii, balneologii a léčebnou rehabilitaci. Režim léčebného pobytu je charakteru nemocničního a nikoli lázeňského – není možné opuštění ústavu přes noc nebo na víkend. Rehabilitační ústav Hostinné má toho času 159 lůžek. Pacienti jsou k pobytu a léčbě přijímáni pro následující indikace: stavy po traumatech pohybového ústrojí, stavy po implantaci totální endoprotézy, stavy po cévních příhodách mozkových, stavy spojené s motorickým deficitem [parézy, plegie] různé etiologie, zpravidla pouzárové a pooperační, chronické stavy vyžadující hyperbarickou oxygenoterapii, stavy po neuro- a spondylochirurgických výkonech, stavy po amputacích končetin apod. RÚ Hostinné poskytuje lůžkovou rehabilitaci převážně pro spádovou oblast Královehradeckého, Pardubického, Libereckého a Ústeckého kraje. Výjimkou nejsou v indikovaných případech pacienti z ostatních regionů.

## Vznik pracovišť hyperbarické oxygenoterapie

Pracoviště hyperbarické oxygenoterapie v Hostinném zahájilo provoz v roce 2004. Prakticky do konce roku 2005 byla jednání se zdravotními pojišťovnami a komisí pro posuzování rozmístění vybrané zdravotnické techniky neúspěšná. Možnost individuálně žádat revizního lékaře o schválení výkonu nastala až v roce 2006. V tomto období se jednalo pouze o diagnózy chronické, jako např. hypoxicko-ischemickou encefalopatií, obtížně se hojící chronické rány, včetně syndromu diabetické nohy, dále chronickou osteomyelitidu, náhlou percepční ztrátu sluchu, algoneurodystrofii [Sudeckovu dystrofií] a stavy po replantaci, referované z nedalekého Ústavu chirurgie ruky a plastické chirurgie ve Vysokém nad Jizerou. Konečného nasmlouvání výkonu s jednotlivými zdravotními pojišťovnami bylo dosaženo v červnu 2008 [Zub et al., 2011].

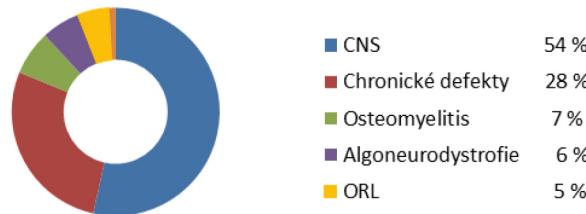
## HBO a léčebná rehabilitace, indikace a provozní aspekty

Rehabilitační ústav s dostupnou hyperbarickou komorou není v ČR zcela obvyklá kombinace, spíše se jedná o výjimku. V některých zemích, např. v Číně, jsou hyperbarická zařízení naprostě běžnou součástí vybavení nemocničních oddělení léčebné rehabilitace a kombinace těchto dvou metod se běžně používá k prospěchu nemocných zejména po traumatech pohybového ústrojí, po kraniotraumatech [Zhou et al., 2014], cévních příhodách mozkových i jiných neurologických onemocnění včetně dětských [Mukherjee et al., 2014], po amputacích končetin [Igor et al., 2013] apod. Postupem doby se zde vyprofilovalo určité spektrum indikací, které je dané jednak druhem poskytované péče [péče následná], ale i typem naší komory, která pro akutní medicínu přizpůsobena není. Pacienti, kteří jsou u naší hyperbarické komoře léčeni, musí být stabilizováni a schopní zvládnout pobyt v komoře samostatně. Pacienti nespolupracující, s psychomotorickým neklidem, netolerancí obličejové masky, nutnosti intravenózního farmakologického tlumení, nejsou k léčbě přijímáni.

## Trendy a léčebné výsledky

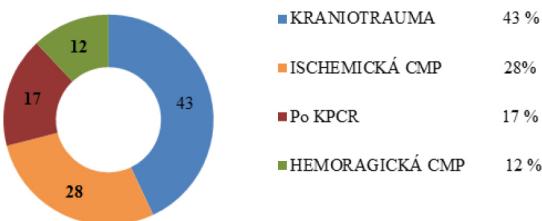
Byly prostudovány a hodnoceny zdravotnické záznamy všech pacientů, léčených metodou HBO v tomto ústavu v období od zahájení provozu v roce 2004 do konce roku 2014. V prvním období se jednalo především o některé pouzárové stavy, zejména po kraniotraumatech, stavy

po ischemii CNS a chronické defekty. Další stavů, jako např. osteomyelitida, náhlá hluchota nebo Sudeckova algoneurodystrofie, byly zastoupeny zcela okrajově. V průběhu několika let pak došlo k úpravě tohoto diagnostického spektra. Snížil se počet pacientů s běrcovými vředy a vředy čistě ischemickými. K nárůstu pak došlo u pacientů s algoneurodystrofickým syndromem, otologickými indikacemi (náhlá percepční porucha sluchu, sluchové šelesty) a osteomyelitidou. Celkově bylo v tomto zařízení v letech 2004-2014 léčeno 397 pacientů. V průměru byla HBO aplikována ročně u 38 pacientů. Každý z nich absolvoval průměrně 37 expozic, což je téměř dvojnásobek nad republikovým průměrem [Růžička et al., 2009] a téměř trojnásobek ve srovnání s výsledky v ostravském hyperbarickém centru [Hájek et al., 2011, Hájek et al., 2015]. Největší část tvořili pacienti s postižením CNS (195 pacientů), dále pacienti s obtížně se hojícími defekty (113 pacientů), Sudeckovou dystrofií a osteomyelitidou (29, resp. 25 pacientů) apod. Rozdělení a procentuální zastoupení jednotlivých diagnóz na celkovém počtu je předmětem obr. č. 1.



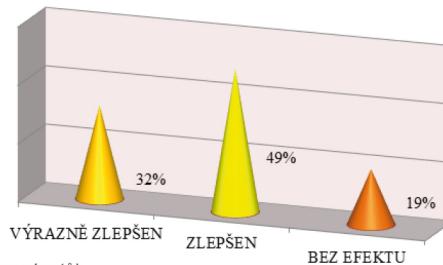
obr. č. 1 – rozdělení indikací (397 pacientů)

Největší část ze 195 pacientů s postižením CNS tvořila kraniotraumata (KC poranění, 84 pacientů) a ischemické CMP (54 pacientů), viz obr. č. 2. V hodnocení přehledu úspěšnosti léčby v jednotlivých diagnostických skupinách jednoznačně dominovaly diagnózy osteomyelitida, Sudeckova algoneurodystrofie a syndrom diabetické nohy, kde u více než 90% případů bylo dosaženo příznivého efektu léčby.



obr. č. 2 – zastoupení jednotlivých patologických stavů CNS (195 pacientů)

Následovala skupina pacientů s KC poraněním, kde bylo dosaženo příznivého efektu léčby u 81 % pacientů (obr. č. 3).



obr. č. 3 – úspěšnost léčby u KC poranění (84 pacientů)

## Zajímavé klinické případy

V první kazuistice se jednalo o chronickou osteomyelitidu v oblasti hlezna, kde již hrozila po mnoha reoperacích i amputace a kdy jsme byli po 10 letech neúspěšné léčby požádáni o záchrany končetiny. V dalším případu bylo dokumentováno zhojení chronických defektů u pacienta se vzácným dědičným onemocnění pojivové tkáně (M. Ehlers - Danlos), způsobený porušenou tvorbou kolagenu. Závěrem je hodnocen případ pacientky s chronickým tinititem, který pacientku sužoval více jak 10 let.

### Referenční seznam

Hájek M., Koliba M. [2011] Hyperbarická oxygenoterapie v léčbě syndromu diabetické nohy, *Interní Med.* 13(6): 250–254.

Hájek et al. [2015]. Význam hyperbarické oxygenoterapie u pediatrických pacientů; zkušenosti a zhodnocení výsledků léčby za pětileté období v Centru hyperbarické medicíny Ostrava. *Cesko-slovenska pediatrie*. (in Press).

Igor S. et al. [2013]. Hyperbaric oxygenation accelerates prosthetic rehabilitation of lower limb amputees. *Undersea Hyperb Med.* May-Jun;40(3):289-97.

Mukherjee, A, Raison, M, Sahni, T, Arya, A, Lambert, J, Marois, P, James, PB, Parent, A. & Ballaz, L. [2014]. Intensive rehabilitation combined with HBO<sub>2</sub> therapy in children with cerebral palsy: a controlled longitudinal study. *Undersea Hyperb Med.* Mar-Apr;41(2):77-85.

Růžička J, Emmerová M, Krátký M. [2009]. Situace v poskytování hyperbarické oxygenoterapie v ČR. *Společné Suplementum časopisů Hojení ran a Kazuistiky v pneumologii a ORL*. pp.14-16.

Zhou, JW, Zhang, AR, Qiu, L, Huang, S, Wang, WC, Hu ,YH, Zhang, Z, Xie ,HJ, Zhao, JJ, Zhai, JL, Jiang, Y, Tian, T, Liu, D, Zheng, X, & Wang, M. [2014]. Cognitive impairment in earthquake brain injury treated with comprehensive program of acupuncture and rehabilitation: a randomized controlled trial. *Zhongguo Zhen Jiu*. Feb;34(2):105-9.

Zub et al. [2011]. Rehabilitační ústav Hostinné - hyperbarická oxygenoterapie – stručný přehled 2004 – 2011. In: Hájek, M. (ed.), *Sborník přednášek z XIX. Kongresu České společnosti hyperbarické a letecké medicíny* (1 ed., pp. 35-36). Špindlerův Mlýn: Ostravská Univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta.

# HYPERBARICKÁ OXYGENOTERAPIE V LÉČBĚ NÁHLE VZNIKLÉ NEDOSLÝCHAVOSTI

<sup>1,2</sup>Hájek M., <sup>1</sup>Maršálková J., <sup>1</sup>Neuwirtová I., <sup>2</sup>Chmelař D., <sup>2,3</sup>Rozložník M.,

<sup>1</sup>Centrum hyperbarické medicíny, Městská nemocnice Ostrava, Česká republika

<sup>2</sup>Katedra biomedicínských oborů, LF Ostravské univerzity v Ostravě, Česká republika,

<sup>3</sup>Katedra živočíšnej fyziologie a etológie, PF, Univerzita Komenského v Bratislave, Slovenská republika

## Abstrakt

Náhlá idiopatická percepční ztráta sluchu je rychle progredující otologická příhoda bez zjevně známé příčiny. Ztráta sluchu je způsobena poškozením hlěmydě a je zvažováno několik možných příčin, včetně cévní, virové, autoimunitní etiologie. Možnosti konvenční léčby jsou mnohočetné, včetně užití kortikosteroidů, vazoaktivních látek, reologik, nootropních látek, vitamínových prostředků, nicméně jejich efektivita není dlouhodobě uspokojivá. Hyperbarická oxygenoterapie patří mezi tzv. alternativní způsoby léčby zejména v případech selhání konvenční farmakologické léčby. Je schopna zvýšit dodávku kyslíku v oblasti Cortiho orgánu (perilympatické tekutině), má protektivní vliv na neurosenzorické buňky, snížuje otok svými va-zonkonstriktorními účinky a obnovuje oxidativní metabolismus. Její výsledky v recentní evidenci jsou velmi pozitivní a nadějná, a její použití by se mělo v blízké budoucnosti rozšiřovat u léčby otologických poruch dospělých i dětí.

**Klíčová slova:** percepční porucha sluchu, Cortiho orgán, hyperbarická oxygenoterapie

## HYPERBARIC OXYGEN THERAPY IN THE TREATMENT OF SUDDEN HEARING LOSS

<sup>1,2</sup>Hájek M., <sup>1</sup>Maršálková J., <sup>1</sup>Neuwirtová I., <sup>2</sup>Chmelař D., <sup>2,3</sup>Rozložník M.,

<sup>1</sup>Centre of Hyperbaric Medicine, Municipal Hospital of Ostrava, Czech Republic

<sup>2</sup>Chair of Biomedical Sciences, Medical Faculty, University of Ostrava, Czech Republic

<sup>3</sup>Department of Animal Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovak Republic

## Abstract

Idiopathic sudden sensorineural hearing loss is rapidly progressive otologic incident apparently without a known cause. Hearing loss is caused by damage to the cochlea and there are considered several possible causes, including vascular, viral, autoimmune etiology. Conventional treatment options are multiple, including the use of corticosteroids, vasoactive and rheological substances, nootropic agents, vitamin agents, however their effectiveness is not satisfactory in the long term. Hyperbaric oxygen therapy belongs into so called alternative methods of treatment, especially in cases of failure of conventional pharmacological treatment. It is able to increase the supply of oxygen in the organ of Corti (perilymphatic fluid), has a protective effect on the neurosensory cells, reduce swelling due to its vasoconstrictor effects and restores oxidative metabolism. The results of recent evidence are very positive and promising, and its use should extend in the treatment of otological disorders in adults and children in the near future.

**Keywords:** hyperbaric oxygen therapy, rehabilitation, physiotherapy

## **Definice, patofyziologie**

Náhlá percepční porucha sluchu patří k častým sluchovým poruchám. Postihuje 5 až 20 osob na 100 000 za rok. Může se na ní podílet celá řada stavů, jako je například snížení průtoku krve sluchovým ústrojím, virové infekce, jako jsou například příušnice, autoimunitní nemoci, úrazy, Menierova choroba, akustický neurinom, ototoxické léky, roztroušená skleróza apod. Pouze v přibližně 20% případů je identifikován příčinný faktor. Ve zbývajících 80% případů není žádná jasná příčina nalezena a hovoříme o tzv. idiopatické percepční poruše (Bartelemy & Rocco, 2006). Uvádí se, že až u poloviny pacientů dochází ke spontánnímu obnovení funkce sluchu během jednoho týdne. Ve většině případů se před-pokládá, že na vzniku sluchové poruchy se výrazně podílí cévní složka. Většina pacientů uvádí rozvoj potíží během minut až několika hodin. V histologickém nálezu hlemýždě dominují otok, strukturální poškození dendritů, mitochondriální změny, oddělení vláskových buněk od bazální membrány, otok endotelu a edematózní uzavření funkčních konečných artérií se zablokováním mikrocirkulace. Tyto změny mají negativní vliv na funkci orgánu. To je důvodem, proč je zlepšená dodávka kyslíku naprosto klíčová pro řešení dysfunkce vnitřního ucha. Porucha sluchového vnímání vzniká uvnitř sluchového ústrojí, nebo odráží dysfunkci jiných systémů. Tinnitus často doprovází sluchovou poruchu a může se však objevit i při zcela normálním sluchu. Příčina může být lokalizována v oblasti vnitřního ucha, sluchové dráhy, nebo ve sluchové kůře. Výskyt sluchových šelestů není zanedbatelný, ve starším věku je výrazně častější, a výjimkou není ani výskyt u dětí. Může vést k poruchám spánku, zvýšené únavnosti, podrážděnosti a ve výjimečných případech až k pokusům o sebevraždu.

## **Diagnostika, léčba**

V diagnostice se využívá neurologické, otoskopické vyšetření, tónová, slovní (řečová) audiometrie, tympanometrie, dále některá z metod objektivní audiometrie, např. vyšetření evokovaných odpovědí mozkového kmene (BERA), vyšetření kortikálních sluchových potenciálů (CERA) apod. Suverénní metodu k vyloučení nádoru z obalu vestibulárního nervu v mostomozečkovém úhlu představuje magnetická rezonance. Kompletní zhodnocení doplňují standardní krevní testy a stanovení titrů auto-protilaterek a virových protilátek (Bartelemy & Rocco, 2006). V léčbě u dospělých v ČR jsou velmi často aplikovány tzv. vazodilatační infuze a reologika (vinpocetin, naftidrofuryl, pentoxyfyllin), dále kortikosteroidy, betahistin, neurotropní látky (piracetam), ginkgo biloba, antioxidanty, méně často antivirotika a jiné. U dětí jsou možnosti farmakologické léčby omezené z důvodu věkového omezení užití některých výše zmíněných preparátů.

Další možností léčby je hyperbarická oxygenoterapie (HBO). Ta je aplikována zejména tehdy, nemá-li konvenční farmakologická léčba efekt. HBO má lokální specifický efekt na obnovu oxidačního metabolismu ve stria vascularis, protektivní vliv na neurosenzo-rické buňky, snižuje se otok vasokonstrikcí. Včasné zahájená léčba HBO má větší naději na pozitivní efekt než léčba zahájená po několika týdnech či měsících. Není pochyb, že HBO má v léčbě postižení sluchu význam a pacienti z této skupiny jsou v ČR i Evropě velmi často zařazováni k léčbě HBO v hyperbarických centrech. HBO může být efektivní i v případě, že klasická farmakologická léčba selhala, a to i po 14 dnech. Např. v retrospektivním souboru pacientů, léčených kombinací vazodilatačních preparátů a HBO (Holy et al., 2011), došlo ke zlepšení u 59,7% pacientů, přičemž při zahájení léčby do 10 dnů došlo ke zlepšení či návratu sluchu u téměř 66% pacientů. Naproti tomu při zahájení léčby po 10 dnech došlo ke zlepšení pouze u 38,9% z nich. V souboru 153 pacientů, zařazených k léčbě hyperbarickým kyslíkem v Centru hyperbarické medicíny Ostrava v roce 2014, činil průměrný věk pacientů 44,1 let. Bylo zde vyrovnané

zastoupení obou pohlaví (muži vs. ženy 76/77). (viz tabulka č. 1)

Doba trvání příznaků	do 2 týdnů	2 týdny až 3 měsíce	3 měsíce až 1 rok	celkově
Počet pacientů (%)	81 (53)	54 (35)	18 (12)	153
Věk průměr (rozmezí)	44,4 (16 - 79)	44,3 (15 - 69)	42,4 (14 - 73)	44,1 (14 - 79)
Pohlaví M - Ž	37 - 44	31 - 23	8 - 10	76 - 77
Hospitalizace (%)	69 (85)	36 (67)	8 (44)	113 (74)
Místo odeslání MNO (%)	40 (49)	35 (65)	9 (50)	84 (55)
Čas do zahájení HBO medián (rozmezí) dny/týdny/měsíce	7 (2-14) dnů	5 (3-12) týdnů	5 (4-12) měsíců	-
Počet expozič HBO průměr (rozmezí)	10,3 (1 - 25)	11,4 (1 - 20)	12,8 (8 - 19)	11,0 (1 - 25)

Tabulka č. 1 - demografická data pacientů

Celkově došlo ke zlepšení sluchu u 74,4% pacientů. Výsledky léčby u pacientů s percepční ztrátou sluchu hodnocené dle ztrát v audiogramu dle Fowlera ukázaly, že čím dříve byla léčba zahájena, tím lepšího výsledku bylo dosaženo. Např. pacienti s trváním příznaků do 2 týdnů dosáhli zlepšení v tónovém audiogramu na postiženém uchu z 55,4 % před zahájením léčby na 27,8 % po ukončení léčby HBO (medián) ve srovnání se skupinou 2 týdny-3 měsíce i skupinou 3-12 měsíců (40,0 vs. 30,0%, resp. 31,0 vs. 28,8%).

### Dostupná evidence efektivity HBO

Americká akademie otolaryngologie (Stachler et al., 2012) doporučuje v léčbě náhlé percepční sluchové poruchy výhradně 2 metody - kortikosteroidy intravenózně nebo intratympanicky, a dále HBO. Naopak není doporučována tato v ČR hojně užívaná léčba vazoaktivními léky (tzv. vazodilatační infuze), antivirotyky, trombolytiky, antioxidanty apod., které jsou obvykle spojené s několikadenními hospitalizacemi těchto pacientů. V současné Cochranové analýze (Bennett et al., 2012) je hodnoceno sedm studií a 392 osob. HBO prokázala ve srovnání s kontrolou významně vyšší šanci na 25% zvýšení průměrného tónového audiogramu ( $p = 0.02$ ). Celkově přináší HBO o 22% vyšší šanci na zlepšení, přičemž je nutno léčit 5 pacientů k dosažení jednoho příznivého výsledku navíc (NNT=5). Dochází k absolutnímu zlepšení průměrného tónového audiogramu o 15,6 dB ( $p = 0.03$ ). U chronické percepční ztráty sluchu po 6 měsících a u sluchových šelestů efekt HBO statisticky potvrzen nebyl.

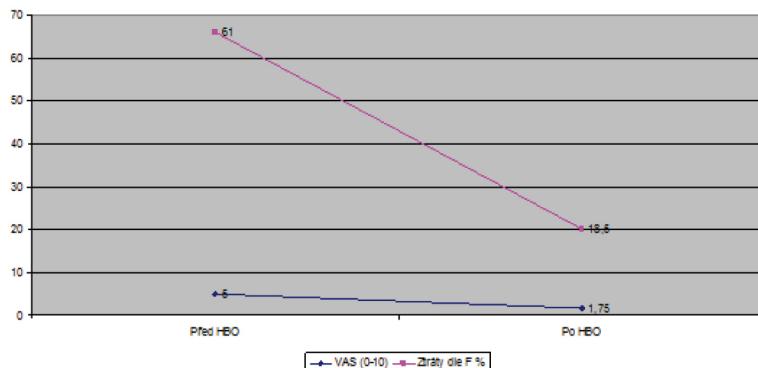
### Dysbarická poranění a jiné komplikace během HBO

Léčba hyperbarickým kyslíkem je obecně považována za bezpečnou léčebnou proceduru, presto však existují určitá rizika a vyskytují se určité komplikace a vedlejší účinky, které v některých případech neumožňují léčbu vůbec realizovat. Nejčastěji se vyskytujícím problémem během HBO je soubor tzv. dysbarických poranění. Barotraumata jsou mechanická poranění vzniklá tlakovým rozdílem mezi dutinami vyplněnými plynet (nejčastěji vzduchem) a okolím. Nejčastější formou je barotrauma středouší lehkého stupně, mohou postihnout také duti-

ny v obličejové části lebky, zubní dutiny, zažívací trakt a takéž plíce [Roque & Simao, 2006]. Příznaky barotitidy popisuje při prvním sezení v hyperbarické komoře až 70% pacientů, ale jen asi u pětiny se potíže vyskytují při třetím a dalším sezení [Capes & Tomaszewski, 1996]. Dle jiných údajů může mít problémy až 17% pacientů, z nichž 1-4% má otoskopické známky barotraumatu.

## Percepční ztráta sluchu a sluchové šelesty u dětí

Jak bylo uvedeno, otologické poruchy včetně náhlé percepční poruchy sluchu a tinitu se mohou rovněž vyskytovat u dětí bez rozdílu věku. V souboru pacientů v letech 2007-2011 (Hájek et al., 2015) bylo zařazeno k léčbě HBO 33 pacientů (20 mužského pohlaví, 13 ženského pohlaví) o průměrném věku 15,4 roku (medián 16, rozmezí 7-18). Důvodem k zahájení HBO byla u 25 pacientů (76%) percepční nedoslýchavost, u 6 pacientů sluchový šestest (tinnitus) a u 2 pacientů ztráta sluchu společně s tinitem. U většiny pacientů byla zpočátku prováděna farmakologická léčba v režii specialisty odbornosti ORL a HBO byla indikována až v případě neúspěchu této terapie. Průměrná doba do zahájení HBO činila 38,2 dne (medián 14, rozmezí 1-360). Průměrná ztráta sluchu na postižené straně před zahájením HBO (26 hodnot) činila 57,5% dle Fowlera (medián 61, rozmezí 6-100), po ukončení léčby HBO pak v průměru 35,2% (medián 18,5%, rozmezí 0-100). Bylo aplikováno v průměru 9,1 léčebných expozic HBO (medián 9, rozmezí 1- 23). Subjektivní potíže udávané pacienty ve smyslu hodnocení stupně intenzity vnímání nepříjemných sluchových šelestů a vjemů a omezení v běžných činnostech a aktivitách u pacientů s percepční nedoslýchavostí zaznamenané na škále VAS (26 hodnot) byly před zahájením HBO v průměru 5,3 (medián 5, rozmezí 2-10), po ukončení léčby v průměru 2,6 (medián 1,75, rozmezí 0-10). (obr. č. 1) Výsledný efekt léčby byl hodnocen u 16 pacientů (48%) jako výrazně zlepšený u dalších 10 pacientů jako mírně zlepšený a u 7 pacientů nedošlo ke zlepšení stavu nebo nebylo možné konečný výsledek hodnotit.



Obr. č. 1 - ztráty sluchu na postiženém uchu dle Fowlera v % (medián) a subjektivní hodnocení obtíží na škále VAS (medián) u dětských pacientů s percepční poruchou sluchu a tinitem před léčbou HBO a po jejím ukončení

## Závěry

Trvalé poškození a ztráta sluchu často vede k psychologickým a sociálním problémům a cílem lékařů by mělo být navržení maximálně účinné terapie pro tyto pacienty. HBO nepochybňně představuje vynikající alternativu ke konvenční léčbě, a to ve světle jejich klinických výsledků i výsledků současné evidence, která její užívání u náhlé percepční poruchy sluchu podporuje.

## Referenční seznam

- Barthelemy, A. & Rocco, M. [2006]. Sudden deafness. In: Mathieu D.(ed.) *Handbook on hyperbaric medicine*. Dordrecht: Springer. 451-468.
- Bennett, M.H., Kertesz, T., Perlth, M., Yeung, P. & Lehm, J.P. [2012]. Hyperbaric oxygen for idiopathic sudden sensorineural hearing loss and tinnitus. *Cochrane Database Syst Rev*. Oct 17;10:CD004739.
- Capes, J..P. & Tomaszewski, C. (1996). Prophylaxis Against Middle Ear Barotrauma in US Hyperbaric Oxygen Therapy Centers. *Am J Emerg Med*. Nov;14(7):645-8.
- Hájek et al. (2015). Význam hyperbarické oxygenoterapie u pediatrických pacientů; zkušenosti a zhodnocení výsledků léčby za pětileté období v Centru hyperbarické medicíny Ostrava. *Cesko-slovenska pediatrie*. (in Press)
- Holy, R. et al. [2011]. Hyperbaric oxygen therapy in idiopathic sudden sensorineural hearing loss (ISSNHL) in association with combined treatment. *Undersea Hyperbaric Med*. 2011, 38: 137-142.
- Roque, F. & Simao, A. [2006]. Barotraumatism. In Mathieu, D.(ed.) *Handbook on Hyperbaric Medicine*, Dordrecht: Springer. p. 715-729.
- Stachler, R.J. et al. [2012]. Clinical practice guideline: sudden hearing loss. American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg*. Mar;146(3 Suppl):S1-35. doi: 10.1177/0194599812436449.

# **RETROSPEKTIVNÍ ANALÝZA VÝSKYTU CENTRÁLNÍ KYSLÍKOVÉ TOXICITY PŘI HYPERBARICKÉ OXYGENOTERAPII V ZÁVISLOSTI NA REŽIMU DÝCHÁNÍ KYSLÍKU V LETECH 2009 - 2014**

Oniščenko B.

Oddělení bezpečnosti letů, Ústav leteckého zdravotnictví Praha, Česká Republika

## **Abstrakt**

Toxicita kyslíku na centrální nervový systém je jednou z komplikací hyperbarické medicíny. Při plném rozvinutí se projevuje zejména ztrátou vědomí a tonicko-klonickými záškuby celého těla charakteru epileptických projevů typu grand-mal. Četnost výskytu se odhaduje na přibližně 1 plně rozvinutou formu na 10000 expozic (při léčbě 250 kPa, 90 min., 100% O<sub>2</sub>). I když není prokázáno, že by z dlouhodobého hlediska poškozovala zdraví, je jistě nevítanou součástí hyperbarické praxe. Při ztrátě vědomí a křečích v uzavřeném prostoru se výrazně zvyšuje riziko sekundárního poranění pacienta a vzniká nestandardní riziková situace, při které vznikají další možné komplikace jak na straně pacienta, tak na straně poskytovatele zdravotní péče. Prevence a minimalizace rizika vzniku tohoto jevu je tedy obecným požadavkem kvalitní hyperbarické praxe. Cílem tohoto sdělení je retrospektivní analýza výskytu rozvinuté centrální kyslíkové toxicity a nežádoucích účinků terapie vedoucích k přerušení léčby v různých léčebných režimech na našem pracovišti v období od 1. 1. 2009 – 31. 12. 2014. Zásadní změnou je zařazení tzv. vzduchové pauzy do léčebné expozice, tj. přerušované dýchání hyperbarického kyslíku. Výskyt nežádoucích účinků léčby se tím radikálně snížil.

**Klíčová slova:** hyperbarická oxygenoterapie, kyslíková toxicita, vzduchová pauza

## **RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF CENTRAL NERVOUS TOXICITY DURING HYPERBARIC OXYGEN THERAPY DEPENDING ON THE SCHEME OF BREATHING OXYGEN DURING 2009 - 2014**

Oniščenko B.

Department of Flight Safety, Institute of Aviation Medicine Prague, Czech Republic

## **Abstract**

The central nervous oxygen toxicity is one of the complications of hyperbaric oxygen therapy. Fully developed it is manifested especially by a loss of consciousness and tonic-clonic seizures of the character of the epileptic grand-mal seizures. The incidence is estimated at approximately 1 fully developed form on 10,000 expositions (for the treatment of 250 kPa, 90 min., 100% O<sub>2</sub>). Although there is no evidence that it is harmful in the long run, it is certainly an unwelcome part of hyperbaric practice. In case of loss of consciousness and seizures in an enclosed space there is an increased risk of secondary injury and the risk of non-standard situations which may bring another complications both for the patient as well as for the healthcare provider. Preventing and minimizing the risk of this phenomenon is therefore a general request for the hyperbaric practice. The aim of this paper is retrospective analysis of the incidence of the oxygen toxicity on the central nervous system and side effects leading to the stopping of treatment in different treatment schemes in our department during 1. 1. 2009 – 31. 12. 2014. The main difference is the inclusion of the so-called air break during treatment and thus interrupting otherwise continuous oxygen breathing. The incidence of

reported adverse effects associated with the subsequent interruption of the patient's ongoing treatment was reduced.

**Keywords:** hyperbaric oxygen therapy, oxygen toxicity, air brake

## Úvod

Hyperbarická medicína je považována za velmi bezpečnou, s minimem nežádoucích účinků a komplikací. Jejich spektrum může být podle základního onemocnění léčeného pacienta velmi rozdílné. V případě těžkých stavů, při využití intenzivní terapie, je léčba v přetlaku náročná a má množství fyziologických a technických specifík. Dále je nutno vzít v úvahu i typ komory (jednomístné oproti vícemístné), délku léčby, technické parametry přetlaku a další. Podle těchto kritérií se způsob přístupu k pacientovi, management komplikací a význam možných rizik zásadně liší. Toto pojednání vychází z léčby ve vícemístné komoře u pacientů v dobrém celkovém zdravotním stavu, léčených zejména pro poruchy vnitřního ucha (ztráta sluchu, tinnitus, Meniérova nemoc), poruchy periferního prokrvení – vředy dolních končetin (při ischemické chorobě dolních končetin, diabetické noze) ale i ortopedické indikace a léčba postradiacního poškození po ozařování. Léčba je na našem pracovišti velmi dobře tolerovaná, bez zásadnějších komplikací. Běžně se vyskytují barofunkční potíže při komprese, neklid resp. klaustrofobní problémy v průběhu expozice, případně je uváděn nižší léčebný komfort (nepohodlné sezení, dýchací maska, využití času). Tyto komplikace terapie jsou většinou nezávažné a velmi dobře řešitelné. Při delší léčbě je také nutné vzít v úvahu chronickou irritaci plic kyslíkem (efekt Lorraine-Smith). Dramatický průběh kyslíkové toxicity na centrální nervový systém je proto velmi nežádoucím jevem. Centrální kyslíková toxicita byla poprvé popsána Paulem Bertem (proto název Paul-Bert effect) v 1878 (Bert, 1943). Jedná se o důsledek dýchání kyslíku pod vyšším parciálním tlakem než atmosférickým. Toxicita se projevuje náhlým vznikem tzv. kyslíkových křečí. Ty můžeme charakterizovat jako tonicko-klonické křeče, nápadně podobné epileptickým křečím typu grand mal. Stav začíná tonickou fází, která je charakterizována ztrátou vědomí a ztuhlostí. Po několika desítkách vteřin dochází k rozvoji generalizovaných záškubů (klonická fáze). Po jejich skončení je pacient různě dlouhou dobu v bezvědomí, případně dochází ke kvalitativní poruše spojené s agitací až brachiální agresivitou, rytmickými pohyby, nebo naopak klidným průběhem (vlastní pozorování). Prodromální příznaky jsou nekonstantní, různé (Bitterman, 2004) a velmi často pouze velmi krátkého trvání před samotným nástupem tonické fáze. Pro prevenci mají proto omezený význam. Kyslíková toxicita dle dostupných zdrojů nenechává žádné reziduální poškození (Kindwall, 2008, Lambersten, 1965). V průběhu záchvatu, resp. v postkonvulzní fázi s kvalitativní poruchou vědomí, je však zvýšené riziko poranění pacienta. Dalším potenciálním rizikem je nesprávný management vzniklé situace ve smyslu zahájení dekomprese v tonické fázi s následným barotraumatem plic. Z vlastní zkušenosti je problematické také následné vyšetření neurologem, kdy v případě nesprávné interpretace a vědomosti o etiologii křečí může dojít k podezření na primární epilepsii se závažnými praktickými důsledky (ohrožení způsobilosti držitele řidičskému průkazu). Zásadními faktory pro vznik centrální kyslíkové toxicity jsou absolutní tlak při hyperbarické expozici a čas (Buttler & Thalmann, 2008). Zvýšené riziko ve vztahu k tlaku je pak limitující zejména při hyperbarické expozici potápěčů, kde je ztráta vědomí prakticky letální komplikací následkem utonutí. Proto je doporučený limit pro dýchání kyslíku pod vodou 140 kPa (odporuďá 4 m vodního sloupce) (Novomeský, 2013). Mechanismus vzniku není zcela objasněný. Předpokládá se vliv volných kyslíkových radikálů na blokádu vedení vzruchu, membránový transport, neurotransmitery a další (Bittermann & Bittermann, 2006). V každém případě se však jev považuje za multifaktoriální a víceúrovňový (Novomeský, 2013). Výskyt centrální kyslíkové toxicity je v hyperbarické praxi naštěstí nízký. Dle různých zdrojů se uvádí výskyt 1:6704

(Welslau & Almeling, 1996) až k 1:40339 [Yildiz, Aktas, Cimsit, Ay & Togrol, 2004]. Uvedené hodnoty vychází z velkých souborů (100 000 a 80 000 pacientů), incidence se však může radikálně lišit podle léčebného profilu (absolutní tlak), počtu expozic, zařazování pacientů s rizikovými faktory, ale také přítomnosti vzduchové pauzy v dýchání kyslíku (Piantadosi, 2004). V naší praxi došlo k zavedení vzduchových přestávek začátkem roku 2014, předmětem článku je srovnání výskytu kyslíkových křecí a dalších nežádoucích účinků před a po tomto datu.

## Metodika

Pro účely přehledu jsem pomocí parametrických výběrů prostudoval počítačovou databázi pacientů ošetřených na našem pracovišti za období od 1.1.2009 až 31.12.2014. Interpretace dřívějších údajů je problematická z důvodu zavádění elektronické dokumentace a ne zcela standardního ustálení její formy. Dále v roce 2008 došlo ke změně profilu léčby ve smyslu snížení absolutního atmosférického tlaku v komoře z 280 kPa na 250 kPa což je zásadní pro hodnocení výskytu kyslíkové toxicity. Od roku 2009 lze soubor považovat za spolehlivý a homogenní z hlediska elektronického vyhledávání údajů. Podle jednotlivých let jsem zaznamenal počet pacientů, expozic, plně rozvinutých kyslíkových křecí se ztrátou vědomí a pacientem ohlášených nežádoucích účinků vedoucích k přerušení terapie. Pro kategorii rozvinuté centrální nervové toxicity jsem považoval za rozhodující ztrátu vědomí a přítomnost svalových záškubů. Do skupiny nežádoucích účinků jsem zahrnul ty, které se vyskytly v průběhu léčby v izokompresní fázi a byly řešeny přerušením hyperbarické expozice s následnou individuální dekomprezí pacienta předkomorou. Nebyly tedy započítané barofunkční problémy při komprese a ani sdělení pacientů o jakýchkoliv problémech, po kterých pak pokračovali v dýchání kyslíku a ukončili expozici standardním způsobem. Do roku 2014 probíhala terapie v profilu komprese, 90 minut izokomprese při ATA 250 kPa s nepřetržitým dýcháním 100% O<sub>2</sub> maskou, poté dekomprese. Délka komprese se může mírně lišit v závislosti na toleranci barometrických změn pacienty v komoře, trvá cca 15 minut (stejně jako závěrečná dekomprese). Od 1.1.2014 jsou do izokompresní fáze zařazeny dvě 5 minutové pauzy (vždy po 30 minutách dýchání kyslíku), kdy pacient sejmě masku a dýchá vzduch v komoře.

## Výsledky

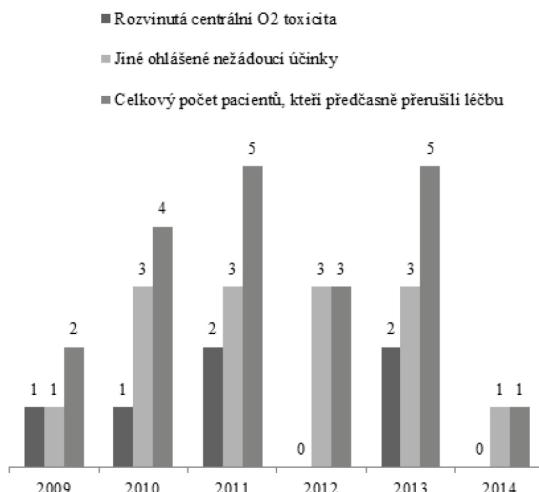
Celkem byla prohledána dokumentace 1599 pacientů, kteří absolvovali 15392 expozic. Meziroční počty pacientů a expozic jsou znázorněny v obrázku č. 1.



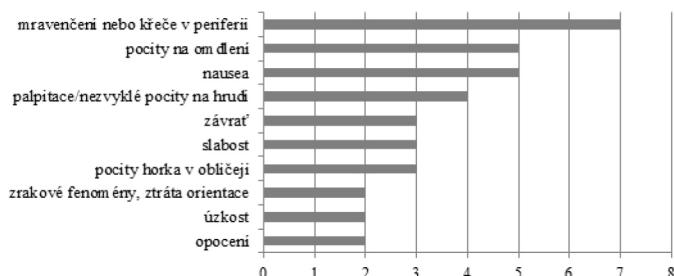
Obrázek 1: Počty pacientů a expozic v jednotlivých letech

Byly zastoupeny všechny věkové kategorie od nezletilých po seniory (11-81 let). Podrobně bylo zkoumáno 84 chorobopisů. V první části zkoumaného období, před zavedením vzduchové pauzy (2009 - 2014), bylo evidováno 6 rozvinutých forem toxicity kyslíku na centrální nervový

systém a 13 nežádoucích účinků vedoucích k přerušení léčby. Jejich počty v jednotlivých letech ukazuje obrázek č. 2. V tomto období byl meziroční průměr incidence centrální kyslíkové toxicity na našem pracovišti 1 : 2152 expozicím. Potíže vyžadující přerušení léčby se vyskytly v poměru 1 : 993 expozicím. Po zavedení vzduchové pauzy v roce 2014 se kyslíkové křeče zatím nevyskytly a počet ohlášených nežádoucích účinků léčby se snížil na 1 : 2478. Konkrétní nežádoucí symptomy ukazuje obrázek č. 3. Od jednoho pacienta se započítávalo i více symptomů.



Obrázek 2: Nežádoucí účinky léčby v jednotlivých letech



Obrázek 3: Přehled hlášených nežádoucích účinků

## Diskuze

Přesto, že léčba v tlakových komorách je v evropských podmínkách ustálena a poskytována v intencích evidence-based medicine, každé pracoviště má svá specifika. Výskyt kyslíkových křečí se na různých pracovištích výrazně liší. Rolí může hrát zastoupení léčených diagnóz (a s tím související profil léčby, počet expozic, celkový stav léčených atd.), odmítání komplikovaných, případně rizikových pacientů anebo zařazení vzduchových pauz a přerušované dýchání kyslíku. Na našem pracovišti byl v průběhu let výskyt komplikací ustálen, což dokládají výsledky, ale i osobní zkušenosť zaměstnanců. Výjimkou je rok 2009, kde bylo celkové množství komplikací nižší. To může být způsobeno nižším výskytem, ale také technickými problémy při vyhledávání, resp. v zápisu v elektronické dokumentaci. V naší analýze vychází, že zařazení vzduchové pauzy má pozitivní efekt na výskyt komplikací. Od začátku 2014 došlo ke snížení

počtu přerušení léčby bez ohledu na příčinu. Nevyskytla se ani jedna rozvinutá forma centrální kyslíkové toxicity („kyslíkových křečí“) a počet ostatních komplikací se snížil. Dřívější hlášené nezádoucí účinky mohly mít několik příčin. Část z nich lze pravděpodobně považovat za prodromální stadia centrální nervové toxicity, ale diferenciálně diagnosticky se nabízí také hyperventilace. Nezvyklé pocití v periferii ve smyslu mravenčení, které je pro hyperventilaci typické, hlásila polovina z pacientů, kteří expozici přerušili. Zavedení vzduchové pauzy v průběhu terapie snižuje dechovou zátěž a působí také na zlepšení psychického komfortu (například díky možnosti volné komunikace mezi pacienty) což má pozitivní efekt na její prevenci. Zvyšuje se tím compliance pacientů k této léčbě a snižuje se množství nestandardních situací, což má vliv na předcházení s tím souvisejících problémů.

## Závěr

Zavedení vzduchových pauz do izokompresní fáze léčby kyslíkem v přetlakové komoře vedlo na našem pracovišti ke snížení výskytu rozvinutých forem centrální kyslíkové toxicity, ale i celkové redukci přerušení léčby pro jiné komplikace. Zvýšila se tak bezpečnost a compliance pacientů. Zásadní význam bude mít sledování vývoje v dalších letech.

## Referenční seznam

- Bert, P. (1943). *Barometric pressure: Research in experimental physiology*. Columbus: College book company.
- Bitterman, N. (2004). CNS oxygen toxicity. *Undersea hyperbaric medicine*, 31, 63-72.
- Bittermann, N. & Bittermann, H. (2006). Oxygen toxicity. In Mathieu, D. (ed.) *Handbook on Hyperbaric Medicine*, Dordrecht: Springer., p. 747.
- Butler, F. K., & Thalmann, E. D. (2008). Central nervous system oxygen toxicity in closed circuit scuba divers II. *Undersea hyperbaric medicine*, 13, 193-223.
- Kindwall, E. P. (2008). *Hyperbaric medicine practice*. (3rd ed., p. 75). North Palm Beach: Best publishing company.
- Lambersten, C. J. (1965). Effects of oxygen at high partial pressure. In W. Fenn & H. Rahn (Eds.), *Handbook of physiology* (pp. 1027-1046). Maryland: Bethesda.
- Novomeský, F. (2013). *Potápěčská medicína*. (1st ed., p. 137). Martin: Osveta.
- Novomeský, F. (2013). *Potápěčská medicína*. (1st ed., p. 139). Martin: Osveta.
- Piantadosi, C. A. (2004). A mini-forum on air breaks and O<sub>2</sub> toxicity in clinical hbo therapy. *Undersea hyperbaric medicine*, 31, 185-202.
- Welsau, W., & Almelung, M. (1996). *Incidence of oxygen intoxication to the central nervous system in hyperbaric oxygen therapy*. In A. Marroni, G. Oriani, F. Wattle (Eds.), *Proceedings of the XXII. International Congress on Hyperbaric Medicine* (pp. 211-216).
- Yildiz, S., Aktas, S., Cimsit, M., & Ay, H. (2004). Seizure incidence in 80000 patient treatments with hyperbaric oxygen. *Aviation space and environmental medicine*, 75, 992-994.

# DIVING RESPONSE PŘI FREEDIVINGU

Pudil R.

1. interní kardioangiologická klinika LF UK a FN Hradec Králové, Česká republika

## Abstrakt

V poslední době vzrůstá počet sportovců, kteří se aktivně věnují potápění na nádech (freedivingu). Ponor na nádech je provázen řadou specifických změn organizmu, z nich některé jsou pro tento typ sportu specifické. Mezi ně patří především změny kardiovaskulárního systému, které jsou charakterizovány redistribucí krevního zásobení, významnými změnami tepové frekvence, systémového krevního tlaku, aktivity sympatheticního nervového systému a mechaniky srdeční kontrakce. Tyto změny jsou vyvolány zádrží dechu a jsou ovlivněny řadou faktorů, mezi které patří ponoření některých částí těla (obličeje) do vodního prostředí, jeho teplota a trénovanost. Základní odpověď organismu na zadržení dechu a ponoření těla do vodního prostředí je tzv. diving response, která zahrnuje snížení tepové frekvence (tzv. diving reflex), snížení srdečního výdeje, zvýšení periferní vazokonstrikce a systémového krevního tlaku, který umožňuje centralizovat oběh a přednostně zásobit vitálně důležité orgány. Intenzitu této základní odpovědi organismu na ponoření zesiluje nízká teplota vody a prohlubující se hypoxie. Dalšími významnými faktory, které mohou ovlivnit průběh těchto změn, jsou stupeň fyzické zátěže během ponoru, vliv tepelné izolace, vliv tlaku a některých speciálních technik užívaných freediving pro prodloužení pobytu pod vodou [např. glossopharyngeální insuflace – tzv. packování a podobně]. Poznání těchto změn může významně přispět nejenom ke zvýšení efektivity tréninku, ale také ke zvýšení bezpečnosti této zajímavé sportovní aktivity.

**Klíčová slova:** kardiovaskulární systém, apnea, adaptace

## DIVING RESPONSE TO FREEDIVING

Pudil R.

1<sup>st</sup> Dept. of Medicine - Cardioangiology, Faculty of Medicine, Hradec Králové, Czech Republic

## Abstract

Nowadays, the number of the athletes involved in freediving is increasing. Breath-hold diving elicits significant and unique physiological response. This response includes primarily the changes of cardiovascular system, which are characterized by redistribution of blood supply (blood shift), significant changes in heart rate, systemic blood pressure, sympathetic nervous system activity and mechanical cardiac contraction. These changes are caused by apnea and are influenced by many factors, including submersion of certain body parts (face) into the aquatic environment, the ambient temperature and fitness of the diver. The response of the human body to apnea and water immersion is called diving response. It involves decrease of the heart rate, bradycardia as a part of diving reflex is a result of the increased of the vagal activity. Even during exercise, the diving response is powerful enough to override the exercise tachycardia for the period of apnea. The bradycardia is the main factor for decrease of cardiac output. During apnea, increased peripheral vasoconstriction and systemic blood pressure are resulting from the increased sympathetic nervous activity. This response leads to blood shift with dominating centralization of the blood circulation and maintaining the blood supply of the vital organs. The intensity of the diving response is

augmented by cold water and duration of the apnea. There are other important factors that may affect this reaction: the level of physical exertion during the dive, the effect of thermal isolation, the influence of pressure and some special techniques used by freedivers used for extension of stay under water (eg. glossopharyngeal insufflation etc.). Understanding these changes can significantly contribute not only to increase the effectiveness of training, but also to enhance the security of this interesting sports activities.

**Keywords:** cardiovascular system, apnea, adaptation

Potápění na nádech provází lidstvo velmi dlouho a je pravděpodobně nejstarší potápěčskou činností, které se člověk v historii věnoval. V posledních desetiletích došlo k významnému zvýšení výkonnosti potápěčů na nádech prakticky ve všech ukazatelích (dosážená hloubka, délka trvání apnoe ve vodě či délka překonané vzdálenosti při plavání pod vodou). Svůj podíl na tom má především systematický trénink, který vychází z poznání zákonitostí a specifik tohoto sportu. Během ponoru na nádech dochází k celé řadě významných změn: změny v parciálních tlacích dýchacích plynů, změny v kinetice plynů ve tkáních těla, působení tlaku na tělesné dutiny, a změny hemocirkulace (včetně tzv. kontrakce sleziny) a řady dalších (Perini 2010, Andersson et al., 2002). Mezi těmito změnami lze nalézt jednotící prvek a tím je určitá uniformní odpověď cirkulace na ponor – tzv. diving response.

### Diving response

Pojem diving response zahrnuje celé spektrum změn, které jsou spouštěny zádrží dechu a ponořením do vodního prostředí. Tato odpověď zahrnuje komplexní adaptační změny kardiovaskulárního systému, které zahrnují změny tepové frekvence, systémového krevního tlaku, periferní vazokonstrikci, aktivaci nervu vagu a současnou aktivaci sympatického nervového systému, dále změny minutového výdeje srdečního, velikosti a funkce srdečních oddílů během ponoru. Ukazuje se, že tyto změny jsou do jisté míry podobné pro většinu savců a jejich cílem je centralizovat oběh se zajištěním perfuze životně důležitých orgánů. Bylo prokázáno, že tato odpověď není ani u lidí uniformní a že existují interindividuální rozdíly (Tocco et al., 2013). Dále bylo prokázáno, že tato odpověď je zesílena především v chladnejším prostředí a stupněm hypoxie a že ji lze podpořit vhodně vedeným tréninkem (Engan et al., 2013).

### Změny tepové frekvence

Kontakt s vodním prostředím a současné zadržení dechu je spouštěcím mechanismem pro pokles tepové frekvence. Předpokládá se, že je vyvolána samotnou zádrží dechu a významně prohloubena podrážděním chladových receptorů umístěných v kůži, které následně vedou ke zvýšení vagové aktivity (Breskovic et al., 2011). Je prokázáno, že největší význam má podráždění chladových tělisek kůže obličeje a následná irritace větví n. trigeminus. Proto část freediverů upřednostňuje použití pouze malých plaveckých brýlí s tzv. nose-clipem před použitím masky. Pokles tepové frekvence je tak během apney tak silný, že vcelku spolehlivě otupí vzešestup srdeční frekvence, který je vyvolán dynamickou svalovou aktivitou. Toto je jednou z příčin snížení srdečního výdeje během ponoru na nádech. Pokles tepové frekvence běžně dosahuje hodnot mezi 20–30 pulzy za minutu, u elitních freediverů byla pozorována frekvence několika úderů za minutu. Zvýšení aktivity vagu a pokles tepové frekvence mohou vést ke vzniku některých arytmii, kdy se mohou uplatnit některé arytmogenní fokusy.

### Změny krevního tlaku

Ponor na nádech je provázen periferní vazokonstrikcí spojenou se vzestupem systolického i diastolického krevního tlaku [Perini et al., 2008]. Tato reakce je způsobena zvýšením aktivity sympatického nervového systému. Bylo zjištěno, že tuto reakci lze vyvolat i prostým zadržením dechu na suchu, ale ponoření obličeje tuto reakci prohlubuje (Andersson et al., 2002). Tato reakce trvá ještě krátce po ponoru, ale během několika minut se hodnoty krevního tlaku opět normalizují. V souvislosti s těmito změnami byl pozorován vliv periferní vazokonstrikce na periferní prokrvení, kdy během ponoru v důsledku navozené vazokonstrikce dochází ke snížení prokrvení periferních tkání, např. kůže (Heusser et al., 2009). Změny hodnot krevního tlaku mohou dosahovat i několika desítek mmHg. Ukazuje se, že tyto změny jsou výraznější u trénovaných freediverů, kde jsou spojeny s významnějším poklesem srdeční frekvence a delším trvání apnoe. V této souvislosti je třeba připomenout, že některé techniky sloužící ke zvýšení objemu plíc těsně před ponorem, tzv. packování (glosofaryngeální insuflace), mohou vést k významnému zvýšení nitrohrudního tlaku, který vede ke sníženému plnění pravostranných oddílů a k poklesu krevního tlaku (Potkin et al., 2007).

### Změny minutového výdeje

Dosavadní studie ukazují, že během ponoru na nádech dochází k poklesu minutového výdeje. Ten je velmi pravděpodobně způsoben poklesem tepové frekvence a může být ovlivněn prohlubující se hypoxií (Marabotti et al., 2013). Této problematice jsme se sami věnovali, v naší studii jsme pozorovali změny ve velikosti a funkci srdečních komor, které provázely opakování ponory freediverů v průběhu přípravy na vrcholné soutěže (Pudil et al., nepublikované sdělení).

### Závěr

Freediving je velmi hezkým sportem a představuje určitý návrat k čisté formě potápění. Potápění na nádech je specifickou aktivitou, která má některá svá specifika. Mezi ně patří především tzv. diving response, tedy změna kardiovaskulárního systému navozená apnoí a ponořením těla do vody. Mezi základní změny patří snížení tepové frekvence, zvýšení systémového krevního tlaku spojená s periferní vazokonstrikcí a centralizací oběhu. Tyto změny jsou augmentovány chladnou vodou a délkom apnoe a mohou být do určité míry ovlivněny tréninkem. Poznání těchto změn je nezbytným předpokladem pro nejenom rozvoj těchto schopností ale především pro zajištění bezpečnosti tohoto sportu.

### Referenční seznam

- Andersson, J.P., Linér, M.H., Rünow, E., Schagatay, E.K. (2002). Diving response and arterial oxygen saturation during apnea and exercise in breath-hold divers. *J Appl Physiol*, 93(3), 882-6.
- Breskovic, T., Uglesic, L., Zubin, P., Kuch, B., Kraljevic, J., Zanchi, J., Ljubkovic, M., Sieber, A., Dujic, Z. (2011). Cardiovascular changes during underwater static and dynamic breath-hold dives in trained divers. *Appl Physiol*, 111(3), 673-8.
- Engan, H., Richardson, M., Lodin-Sundström, A., van Beekvelt, M., Schagatay, E. (2013). Effects of two weeks of daily apnea training on diving response, spleen contraction, and erythropoiesis in novel subjects. *Scand J Med Sci Sports*, 23(3), 340-8.

Heusser, K., Dzamonja, G., Tank, J., Palada, I., Valic, Z., Bakovic, D., Obad, A., Ivancev, V., Breskovic, T., Diedrich, A., Joyner, M.J., Luft, F.C., Jordan, J., Dujic, Z. [2009]. Cardiovascular regulation during apnea in elite divers. *Hypertension*, 53(4), 719-24.

Marabotti, C., Piaggi, P., Menicucci, D., Passera, M., Benassi, A., Bedini, R., L'Abbate, A. (2013). Cardiac function and oxygen saturation during maximal breath-holding in air and during whole-body surface immersion. *Diving Hyperb Med*, 43(3), 131-7.

Perini, R., Gheza, A., Moia, C., Sponsiello, N., Ferretti, G. [2010]. Cardiovascular time courses during prolonged immersed static apnoea. *Eur J Appl Physiol*, 110(2), 277-83.

Perini, R., Tironi, A., Gheza, A., Butti, F., Moia, C., Ferretti, G. [2008]. Heart rate and blood pressure time courses during prolonged dry apnoea in breath-hold divers. *Eur J Appl Physiol*, 104(1), 1-7.

Potkin, R., Cheng, V., Siegel, R. [2007]. Effects of glossopharyngeal insufflation on cardiac function: an echocardiographic study in elite breath-hold divers. *J Appl Physiol*, 103 (3), 823-827.

Tocco, F., Marongiu, E., Pinna, M., Roberto, S., Pusceddu, M., Angius, L., Migliaccio, G., Milia, R., Concu, A., Crisafulli, A. [2013]. Assessment of circulatory adjustments during underwater apnoea in elite divers by means of a portable device. *Acta Physiol (Oxf)*, 207(2), 290-8.

## SAFETY MEASURES DURING A FIELD DIVING RESEARCH

Rozlozník M.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Physiology, Faculty of Natural Sciences, Comenius University, Bratislava, Slovakia

<sup>2</sup> DNB consult, s.r.o., Kezmarok, Slovakia

<sup>3</sup> Department of Biomedical Sciences, Medical Faculty, University of Ostrava, Czech Republic

### Abstract

SCUBA diving is generally considered as a safe sport activity and current state of art technology allows a diver to dive to extreme depths, areas, to use various breathing mixtures and apply different decompression strategies. The most current data analysis from DAN Europe DSL database show, that diving accidents occur despite all known safety measure are observed and divers followed the known limits and recommendations. The unpredictable nature of DCS imposes an obligation of prevention awareness and preparation. Diver- and environment related factors however, make this not always very easy to achieve. This on one hand and evidence of the successful most current record dives, usually performed in remote areas creates a demand for more field research within and outside the scope of standard recreational diving. Here, pre-dive procedures, safe diving practices, post-dive checks and considerations relevant to the research dives with special emphasis on diving in extreme environments including cold water diving, diving at altitude and in remote areas will be reviewed. The practices related to effective management of a diving emergency event will be also reviewed with special considerations on managing a diving emergency event in remote areas, where resources, evacuation might be limited and access to the appropriate healthcare might take considerable time.

**Klíčová slova:** potápačská nehoda, extrémní potápění, hyperbarická oxygenoterapie

**Keywords:** diving emergency, extreme diving, hyperbaric oxygen treatment

### Introduction

Scuba diving represents a relatively safe sport activity (Fock, 2013). However, when a scuba diving accident occurs, the consequences are usually severe, life-threatening, often leading to permanent disability or death. Injuries are usually caused by the direct effect of pressure, breathing gases and environmental conditions. Thus, special precautions have to be observed to mitigate the risk while diving. Recent advances in recreational technical diving allowed for extreme SCUBA dives up to a depth of several hundred meters and clearly showed technology readiness for such dives. This was associated with development of specialized training procedures, rescue processes and logistic, since such record dives are usually performed in remote areas and may last for several hours. Dives beyond recreational limits and long exploratory dives in an overhead environment are usually considered as extreme due to the lack of effective diving accident management since chance of effective rescue by support team in case of emergency is rather virtual than real. Despite that, SCUBA diving is still generally accepted as a safe sport activity and the most common cause of death of SCUBA divers is drowning, with almost no technical failure of equipment (Denoble, Marroni, and Vann, 2010). Nevertheless, such record dives created a demand for more field research outside the scope

of standard recreational diving in order to document and explain human performance while diving beyond the current limits.

## **Material and methods**

The most current field diving research projects have been reviewed in order to identify and assess measures applied to mitigate risks of a diving related accident. The special emphasis was put on diving research projects in remote areas (e.g. Slovakia Cold Water Diving Research 2013, TRIMIX Deep Dive Research 2013, Under The Pole 2015) which represented the most extreme (safety, logistics) examples of the diving research realized in the recent years. Based on that, different safety and emergency procedures were identified and classified.

## **Results**

The safety measures for a field diving research should include pre-dive procedures, safe diving practices, post-dive checks and considerations relevant to the research dives with special consideration when research and or record dives are performed in extreme environments such as cold and arctic water diving, diving at altitude and diving in remote areas. Pre-dive procedures should include risk assessment, appropriate certification and diving experience in given conditions, first aid training and in/out water rescue procedures, appropriate equipment redundancy and appropriate environmental protection. Pre-dive measures limiting the risk of decompression sickness (DCS) should be employed (e.g. appropriate hydration). During the dive, the presence of a safety diver, proper gas management and communication have to be considered. After the dive, divers should primarily avoid physical effort, lowering ambient pressure and observation period of at least 24 hours to limit a venous gas emboli production.

## **Discussion**

Despite all pre-dive, dive and post-dive safety measures are followed, a diving emergency may occur requiring an orchestrated work of a diving team, research team and potential bystanders in order to effectively manage such an event. The most current practice and recommendation in management of a diving accident include ABC control and management, immediate oxygen and fluid administration, rescue chain launch and evacuation to a relevant health care provider. Considering a triage of diving accidents, it is important to take into account the availability and proximity of higher-level medical facilities. If feasible, cases that necessitate intensive care, life sustaining equipment (mechanical ventilators) or advanced diagnostic machinery, should be stabilized and moved right away on normobaric oxygen to the nearby hospital, where they remain until hemodynamic stability is achieved allowing their treatment in the recompression chamber.

Following the treatment diver is returned to the higher care facility until clinical improvement is achieved or until a stable status is achieved – allowing the transport to a specialized center, preferably in the land of origin of the patient (Balestra, Germonpre, Rozloznik, Buzzacot, and Madden 2014).

## **Conclusions**

The safety measures for a field diving research should include pre-dive procedures, safe diving practices, post-dive checks. Special considerations relevant to the field research and/or dives performed in extreme (remote) environments should be employed in order to mitigate

the risk of a diving related accident.

## References

- Fock, A. W. (2013). Analysis of recreational closed-circuit rebreather deaths 1998-2010. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 43 (2), 78-85.
- Denoble P. J., Marroni A., Vann R. D. (2010) *Annual Fatality Rates and Associated Risk Factors for Recreational Scuba Diving*. In: Denoble P. J. & Lang M. A. (Eds.), *Recreational Diving Fatalities Workshop Proceedings*: Divers Alert Network.
- Balestra, C., Germonpre, P., Rozloznik, M., Buzzacot, P., Madden, D. (2014). *The Science of Diving*: Lambert Academic Publishing.

# NOVÝ ZPŮSOB ODŠKODŇOVÁNÍ ZDRAVOTNÍCH PORUCH ZPŮSOBENÝCH POTÁPĚNÍM

Hrnčíř E., Kneidlová M.

Klinika pracovního a cestovního lékařství Univerzity Karlovy v Praze,  
3. lékařské fakulty, a Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Česká republika

## Abstrakt

Zákonem č. 89/2012 Sb., občanským zákoníkem, byla zrušena vyhláška č. 440/2001 Sb., o odškodnění bolesti a ztížení společenského uplatnění, v platném znění. Pro události nastalé ode dne 1.1.2014 tedy nemáme předpis, podle kterého by bylo možné stanovit odškodnění za bolest a za ztížení společenského uplatnění odpovídající určitým poruchám zdraví. S ohledem na to byla vytvořena Metodika Nejvyššího soudu k náhradě nemajetkové újmy na zdraví (bolest a ztížení společenského uplatnění podle § 2958 občanského zákoníku). Jde o nezávazné doporučení určené soudům k určování výše náhrad za některé škody způsobené neprofesionálními úrazy. Současně je připravováno nařízení vlády, které má upravovat stanovení náhrad za škody způsobené pracovními úrazy a nemocemi z povolání, to je nyní v poslední fázi příprav před vydáním.

Princip stanovení odškodnění za bolest způsobenou obecnými i pracovními úrazy nebo nemocemi z povolání se v důsledku uvedené změny pravidel nemění, i když se významně změní vzájemné vztahy, pokud jde o výši odškodnění přiznávaného za různé patologické stav. Zásadním způsobem se ale mění princip stanovení náhrady za ztížení společenského uplatnění způsobeného obecnými i profesionálními zdravotními poruchami. Existují důvodné obavy, že tento nový princip a jeho praktická realizace přináší velmi významná úskalí a problémy, které jsou takového charakteru, že budou vnášet řadu nepřijatelných prvků do posuzovacího procesu.

Při přednášce budou vysvětleny principy nového stanovení odškodnění za bolest a za ztížení společenského uplatnění a podle nové metodiky budou analyzovány a kvantifikovány některé případy hodnocené podle dříve platných postupů. Rozdíly v hodnocení patologických stavů vzniklých v souvislosti s potápěním jsou zásadní a bude na to poukázáno.

**Klíčová slova:** odškodňování, potápění, zdravotní poruchy

## THE NEW METHOD OF COMPENSATION OF HEALTH DISORDERS CAUSED BY DIVING

Hrnčíř E., Kneidlová M.

Clinic of Occupational and Travel Medicine, Charles University in Prague, 3rd Faculty of Medicine

## Abstract

Decree No. 440/2001 of Collection (procedure for determining of compensation for pain and life-limiting) has been canceled by Law No. 89/2012 of Collection, the Civil Code. At the present time we do not have a prescription, through which it would be possible to determine the compensation due to restrictions which exist as a result of events occurring after the date of January 1, 2014. With this in mind the Supreme Court of the Czech Republic creates some

methodology to be followed in these cases of compensation for damage to health caused by general injuries. Simultaneously, the government prepared a regulation that has set the level of compensation for damage caused by accidents at work and occupational diseases, it is now in the final phase of preparations before the release.

The principles of determining compensation for pain caused by general and job-related injuries or occupational diseases do not change, even when changing relationships in terms of the amount of compensation granted under various pathological conditions. But fundamentally changes the principle for determining compensation for the limitations due to the general and professional health disorders. We have serious concerns that the new principle and its application in practice will be very problematic, and that will bring back the undesirable phenomena in the assessment of health disorders.

During the lecture we will explain the new principles of determining the compensation for the pain and the limitations and according to the new methodology will be analyzed and quantified some cases evaluated by the former procedures. It will be pointed to significant differences in the evaluation of pathological conditions arising in connection with diving.

**Keywords:** compensation, diving, health disorders

Naše společnost poskytuje finanční kompenzace jedincům, u nichž nastaly posudkově významné patologické odchylky od normálního zdravotního stavu zaviněním jiného subjektu. Může jít o důsledky úrazů utrpěných při nezaviněných dopravních nehodách nebo při trestné činnosti, o nemoci z povolání nebo o zdravotní následky pracovních úrazů. Je obvyklé, že každá společnost si vytvoří pravidla, která upravují jednak výši tohoto odškodňování, jednak postupy a instituce, které jsou kompetentní tuto problematiku řešit.

Zásadní změnu pro stanovení finančních náhrad za škody na zdraví způsobené jiným subjektem přinesl zákon č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, který zrušil vyhlášku č. 440/2001 Sb., o odškodnění bolesti a ztížení společenského uplatnění, v platném znění, resp. její účinnost ukončil k datu 31.12.2014. Nejvyšší soud České republiky na vzniklou situaci reagoval vydáním „Metodiky Nejvyššího soudu k náhradě nemajetkové újmy na zdraví (bolest a ztížení společenského uplatnění podle § 2958 občanského zákoníku)“ (dále jen „metodika“). Ta je prozatím aplikována pouze na zdravotní následky mimopracovních událostí, neboť podle převažujícího výkladu zákona č. 262/2006 Sb., zákoníku práce, v platném znění, je stále možné využívat ke stanovení výše finanční náhrady, která vznikla zaměstnanci v důsledku pracovního úrazu nebo nemoci z povolání, zmiňovanou vyhlášku č. 440/2001 Sb., o odškodnění bolesti a ztížení společenského uplatnění, ve znění platném k datu 31.12.2013. Současně je připravován nový předpis (nařízení vlády), který by stanovil pravidla odškodňování za bolest a za ztížení společenského uplatnění u osob postižených pracovními úrazy nebo nemocemi z povolání (dále jen „návrh“). Princip stanovení odškodnění za bolest by se podle „metodiky“ i podle „návrhu“ nezměnil, resp. nelíšil by se od dosud zavedené praxe, není tedy ani předmětem závažnějších polemik nebo zásadních námitek. Naprostě zásadním způsobem se ale jak podle „metodiky“, tak i podle „návrhu“ mění principy stanovení náhrady za ztížení společenského uplatnění. Zatímco v současné době se postupuje tak, že výše odškodnění vypláceného za ztížení společenského uplatnění odpovídá zjištěným odchylkám od normálního zdravotního stavu (jejich charakteru a stupni závažnosti), „metodika“ i „návrh“ vycházejí z úplně jiného pojetí. Podle nich by pro výši odškodnění nebylo rozhodné, jakou nemocí (odchylkou od normálního zdravotního stavu) posuzovaný jedinec trpí, nýbrž to, do jaké míry ho taková zdravotní odchylka omezuje v realizaci vybraných životních aktivit (označených v „metodice“) jako aktivity a participace a

v „návrhu“ jako „životní potřeby“). Takovými životními aktivitami jsou méně vyjmenované činnosti, jakými jsou kupř. některé parametry smyslového vnímání, myšlení, rozhodování, duševní pohoda, přijímání zpráv, používání komunikačních pomůcek, změny pozice těla, různé manipulace s předměty, chůze, běh, skákání, řízení dopravního prostředku, mytí, vyměšování, oblékání a obuvání, stravování, nakupování, vaření, vykonávání domácích prací, základní a složitá mezilidská jednání, intimní a sexuální vztahy, výchova dětí, příprava na povolání, využívání kvalifikace, rekreace či účast na náboženském a politickém životě. Posuzující lékař by pro každou z takových aktivit (ve skutečnosti poněkud podrobněji specifikovaných, než je uvedeno výše) stanovil stupeň omezení navozený posuzovanou poruchou zdraví, a to v případě „metodiky“ v procentech, v případě „návrhu“ od stupně lehkého přes stupeň středně těžký a těžký až po úplný. Každému omezení určité jednotlivé aktivity odpovídá nějaká finanční částka a celková výše odškodnění za ztížení společenského uplatnění by byla dána součtem těchto částek stanovených podle míry ztížení realizace jednotlivých aktivit.

Uvedené principy bude nutné aplikovat i v případě stanovení výše náhrad za škody na zdraví související s potápěním, s létáním či jiným pobytom nebo prací v hyperbarickém nebo hypobarickém prostředí. Již při předběžném hodnocení vzniklé situace je zřejmé, že patrně bude velmi nesnadné řešit z lékařského hlediska otázku stanovení přiměřené finanční náhrady za ztížení společenského uplatnění pro škody na zdraví.

Důvody jsou následující:

- 1] Dosud neexistují kriteria, která by umožňovala nějakým objektivním a přezkoumatelným způsobem stanovit, jaký stupeň omezení při realizaci jednotlivých životních aktivit odpovídá určitým přesně definovaným odchylkám od normálního zdravotního stavu.
- 2] V řadě případů není úplně zřejmé, co se jednotlivými aktivitami myslí, a sémantický obsah popisu takových aktivit by mohl být různými posuzovateli interpretován nejednotným způsobem. Mohlo by být předmětem polemik, co je to oblékání, nakupování, intimní vztahy, výchova dětí nebo politický život atd..
- 3] Omezení při realizaci hodnocených aktivit není možné posuzovat při vyšetření pacienta v lékařské ordinaci. Takové posouzení je možné činit jenom na základě pozorování a hodnocení všemožných činností pacienta v jeho osobním a rodinném životě. To je v praxi pro lékaře téměř nemožné.
- 4] U jedinců výrazně finančně zainteresovaných na výsledku posouzení nelze vždy zaručit optimální spolupráci při předvádění a popisování poruch, které u něj hodnocené odchylky od normálního zdravotního stavu způsobují.
- 5] Lékař zřejmě z titulu své odborné kvalifikace není plně kompetentní k posuzování omezení jedince při výkonu některých aktivit (jakými jsou např. vaření, oblékání, péče o dítě nebo náboženské či politické aktivity).
- 6] Většinou nelze identifikovat tu část z celkového omezení existujícího u posuzovaného jedince při výkonu nějaké aktivity, která připadá na hodnocenou poruchu zdraví.
- 7] Neexistence jakýchkoliv kriterií nedává žádnou pojistku proti nepřiměřenému, nejednotnému, svévolnému, zkreslenému či úcelovému využívání (zneužívání?) nově prosazovaného principu a systému poskytování finančních náhrad. Přitom většina provedených hodnocení by

vycházela v podstatě ze subjektivních tvrzení pacientů o jejich životních omezeních, případně z nálezů učiněných při vyšetření, jejichž výsledky závisejí zásadní měrou na spolupráci vyšetřovaného jedince a při vytváření posudkového závěru by se velmi významným způsobem uplatňovaly subjektivní faktory přicházející ze strany posuzujícího lékaře.

**8)** Pro některé nemoci není tento princip posuzování vhodný proto, že závažná postižení zdraví jsou mnohdy diagnostikována v té fázi onemocnění, která ještě nemusí být spojena s významnými omezeními při realizaci předmětných hodnocených životních aktivit.

**9)** Používání navrhovaného systému odškodňování za ztížení společenského uplatnění není součástí vzdělávacího programu žádného lékařského oboru a není zcela zřejmé, jak by se s ním jednotlivé lékařské obory vypořádaly.

**10)** „Metodika“ i „návrh“ vycházejí sice z totožného principu, ale v konkrétních případech se liší, takže pro totožný patologický stav přináší zcela různou výši finančního odškodnění. V posudkové praxi je jistě velkým problémem, lze-li totožnou zdravotní poruchu vyhodnotit více než jedním způsobem a dojít přitom k významně odlišným posudkovým závěrům s diametrálně rozdílnými finančními dopady.

**11)** Navrhovaný systém stanovení odškodnění za ztížení společenského uplatnění je velmi nevyvážený a přináší zásadní průlom do všeobecně akceptovaných relací při hodnocení závažnosti jednotlivých chorob a možná ani není v souladu s ústavním principem proporcionality. Velmi vysoké odškodnění by tento princip přinášel jedincům trpícím relativně málo závažnými pohybovými omezeními nebo údajnými duševními potížemi, neboť právě takové poruchy mohou přinášet určitá omezení při realizaci velkého množství hodnocených aktivit. Naproti tomu finanční částky poskytované pacientům trpícím závažnými poruchami zdraví interního charakteru byly poměrně nízké (nebo velmi nízké až nulové).

Největším jeho problémem je ale to, že výše finanční náhrady za ztížení společenského uplatnění je předem neodhadnutelná. Zatímco až dosud byly za zdravotní postižení související s pobytom a prací v přetlaku stanoveny jednoznačné základní (výchozí) finanční částky (které však mohly být upravovány resp. navýšovány podle věku, dosavadního pracovního, kulturního či jiného zapojení jedince), podle nově navrhovaných posudkových zásad je odškodnění za jasně definovanou zdravotní poruchu předem těžko odhadnutelné, resp. jedincům trpícím totožnými zdravotními problémy může být přiznáno diametrálně rozdílné finanční odškodnění. Jako příklady uvádíme základní odškodnění přiznávané u nás do konce roku 2014 pro patologické stavy navozené potápěním. Upozorňujeme, že v nynější době již bude obtížné uváděnou výši odškodnění prosadit.

Chronická forma dekomprezivní nemoci:

- ▶ Encefalopatie a organický psychosyndrom: 24.000,- až 348.000,- Kč
- ▶ Potápěčská obrna:
  - ▶ monoparéza: 36.000,- Kč
  - ▶ paraparéza: 72.000,- Kč
  - ▶ kvadruparéza: 180.000,- Kč
  - ▶ monoplegie: 168.000,- Kč
  - ▶ paraplegie: 336.000,- Kč
  - ▶ kvadruplegie: 360.000,- Kč

- ▶ Dysbarická osteonekróza:
  - ▶ asymptomatická: 0,- Kč
  - ▶ vedoucí k postižení ramenního kloubu: 18.000,- až 48.000,- Kč
  - ▶ vedoucí k postižení kyčelního kloubu: 48.000,- až 96.000,- Kč

Následky úrazů:

- ▶ Nedoslýchavost převodního typu po barotraumatu středního ucha, dle stupně postižení: cca 12.000,- až 48.000,- Kč
- ▶ Ztráta zuba po barotraumatu: 1.800,- Kč
- ▶ Porucha funkce plíce po barotraumatu: 60.000,- Kč

Postižení zdraví související s pobytom nebo prací v hyperbarickém nebo hypobarickém prostředí nejsou častá, přesto se s nimi můžeme setkat a budeme nuteni řešit otázku finanční náhrady za škody na zdraví, které jsou jimi způsobeny. Zdá se, že nově prosazované a zaváděné principy tuto problematiku významně zkomplikují a budou základem pro celou řadu sporů o výši přiznaného odškodnění.

## Literatura

- 1) Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce, v platném znění
- 2) Zákon č. 89/2012, občanský zákoník, v platném znění
- 3) Vyhláška č. 440/2001 Sb., o odškodnění bolesti a ztížení společenského uplatnění, ve znění platném ke dni 31.12.2013

# -Gz PŘETÍŽENÍ PŘI SESKOCÍCH Z EXTRÉMNÍCH VÝŠEK

Došel P.

Ústav leteckého zdravotnictví Praha, Česká republika

## Abstrakt

Jedním z kritických rizik seskoků z extrémních výšek je nebrzděná rotace lidského těla okolo transverzální osy (osa x). Rotace je způsobena nemožností aerodynamické korekce pozice v důsledku nedostatečné hus-toty atmosféry. Rotace o vysokém počtu otáček ovlivňuje řadu orgánů a systémů lidského těla a může vést k jejich malfunkci, poranění nebo selhání a tím výrazně snížit výkonnost člověka.

## Literární údaje

Historicky se začal problém řešit v 50tých letech minulého století. V podstatě jde o působení -Gz přetížení (směr pánev – hlava) na orgány nad osou otáčení, zejména hlavu a +Gz přetížení na orgány pod osou rotace. Klíčový je efekt na krevní oběh a regulaci krevního tlaku a následné dopady změn distribuce krve pro činnost mozku, dýchacího systému, zraku, metabolické poměry a aktivního pohybu. Vysoká frekvence rotace může vést od benigních arytmíí až k asystolii, od narušení koncentrace až ke ztrátě vědomí, k hypoxii v důsledku narušení poměru ventilace – perfuze a následná hypoxie mozku k významným poruchám jeho činnosti. Zátež vede k narušení funkce smyslů, zejména zraku. Příprava re-kordního seskoku Felixe Baumgartnera byla zaměřena na vypracování metodiky prevence rotací, případného obnovení aerodynamické stability letu. Byly provedeny desítky seskoků z velkých výšek v nejrůznějších konfiguračních výškového skafandru a speciální výstroje. Na základě získaných vědomostí byla stanovena definitivní metodika seskoku a výstroje z výšky 39 000 m.n.m. Dále byl vypracován algo-ritmus okamžité, transportní a nemocniční péče s ohledem na specifické rizikové zátěže (+ a -Gz přetížení, hypoxie, dekomprezí nemoc apod.).

## Závěry

Patofysiologie -Gz záteže vede k typickým předvídatelným a léčitelným změnám zdravotního stavu. Rotace nespustila automatický stabilizační systém a parašutista stabilizoval let sám aerodynamic-kými korekčními pohyby končetinami ve výšce umožňující jejich účinnost. Obavy z negativního efektu rotace se tedy naplnily. Pozemní lékařský tým byl připraven k zásahu podle připravených protokolů. Uvedená problematika má přesah do kosmické medicíny.

**Klíčová slova:** -Gz přetížení, rotace, výškové seskoky

## -Gz ACCELERATION AT EXTREME HIGH ALTITUDE JUMPS

Došel P.

Institute of Aviation Medicine Prague, Czech Republic

## Abstract

One of the critical risks of extreme high altitude jumps is the rotation of body about its transverse axis (x axis) which is not retarded. The rotation is caused by the impossibility of

aerodynamic position correction due to insufficient density of the atmosphere. High rotation speed influences various organs and systems of human body and can lead to their malfunction, injury or failure, and thus significantly reduce human performance.

## Theoretical knowledge

Solving of that problem started in the 1950s. It is essentially the influence of -Gz acceleration (direction: legs to head) to the organs above the axis of rotation, especially the head and the influence of + Gz acceleration to the organs under the axis of rotation. The effects on blood circulation and blood pressure regulation are essential. The subsequent effects on the blood distribution can result in brain activity, respiration, vision, metabolic status and active movement changes. High frequency of rotation may induce effects ranging from benign arrhythmias to asystole, from deterioration of the concentration to loss of consciousness due to hypoxia as a consequence of change of ventilation – perfusion ratio. Subsequent hypoxia of the brain results in significant impairment of activity. Rotation leads to deterioration of the function of the senses, especially vision. Preparation of Felix Baumgartner's record jump was focused on the development of a system to prevent rotation and renewal of aerodynamic flight stability. Many altitude jumps were carried out with various configurations of altitude pressure suit and special equipment. Based on the gained knowledge, final methodology and equipment were determined for the jump from the altitude of 39 000 m. Furthermore the algorithm of immediate, transport and hospital health care was developed with regard to specific risk load (+ and -Gz acceleration, hypoxia, decompression sickness, etc.).

## Conclusions

Pathophysiology of -Gz acceleration leads to typical predictable and treatable health changes. Rotation did not initiate automatic system of stabilization. Paratrooper stabilized the flight himself by aerodynamic correction of limb movements after reaching the altitude allowing their effectiveness. Concerns about the negative effect of rotation were fulfilled. Ground medical team was ready to act according to prepared protocols. The foregoing issues also exceed into the field of space medicine.

**Keywords:** -Gz acceleration, rotation, high altitude jump

## Úvod

Rekordní seskok Felixa Baumgartnera - Red Bull Stratos Space Jump (RBSSJ) dne 14. 10. 2014:

- ▶ Seskok z výšky: 39 044 metrů
- ▶ Nejvyšší dosažená rychlosť: 1 342,8 km/hod (Mach 1,24)
- ▶ Délka trvání volného pádu: 4:19 min
- ▶ Délka volného pádu: 36 529 metrů
- ▶ Celková délka seskoku: 9:03 min

Jedno z největších rizik představuje rotace okolo transverzální osy lidského těla, která je spojena s projevy -Gz přetížení. Efekt tohoto typu přetížení působí v dlouhé ose těla ve směru pánev – hlava a vektor příčinných akceleračních sil je opačný. Příčina rotace je dána poklesem hustoty atmosféry ve velkých výškách. Tím se snižuje aerodynamický odpor vzduchu a pád tedy nelze řídit - riziko nestability a rotace se extrémně zvyšuje. Na běžných seskokových výškách se rotace zastavuje změnou konfigurace těla (aerodynamický odpor). Ve velkých výškách

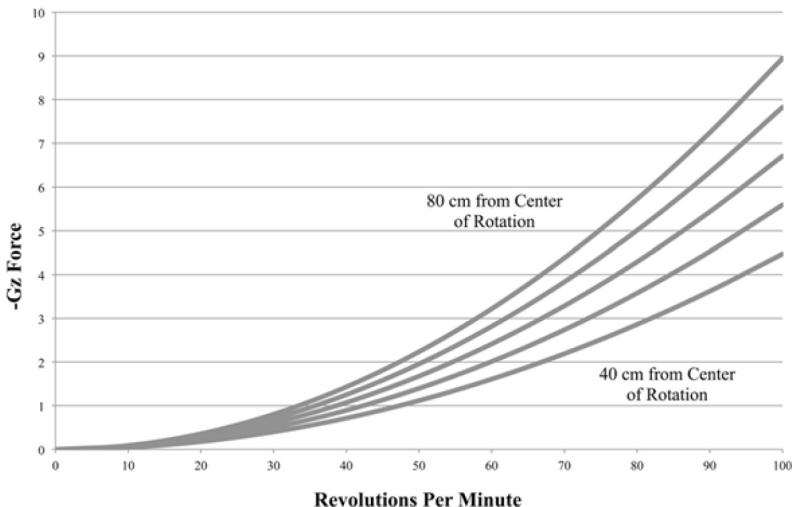
však už jen změna polohy končetiny vede rychle k destabilizaci pozice (Knapík et al. 2011; Nilsson et al. 2011; Pattarini et al., 2013).

## Literární údaje

-Gz zátěž je určena rychlosťí rotace a poloměrem otáčení. Odpovídající hodnoty -Gz zátěže se stře-dem otáčení na úrovni srdce jsou uvedeny v následující tabulce č. 1 (Pattarini et al., 2013):

Otáčky za minutu	50	75	100
Odpovídající -Gz přetížení	-0,9	-2	-3,5

**Revolutions Per Minute and Measured -Gz Force**



Obrázek č. 1 - Vztah mezi počtem otáček za minutu a velikostí -Gz přetížení

Hodnoty se zvyšují při kaudalizaci osy otáčení (delší poloměr otáčení). Srovnávací hodnoty byly zjištovány pokusně při přípravě projektu na konkrétním skafandru a jsou znázorněny na obr. č. 1.

## Kardiovaskulární systém

Při rotaci jsou oběhové fyziologické důsledky složité, protože horní část těla a hlava jsou vystaveny -Gz zátěži, zatímco dolní část může být vystavena hodnotám -Gz až +Gz. Konečným důsledkem je snížený návrat krve do srdce (West, 2013; West, 1998). Setrvalá -Gz zátěž prokazatelně způsobuje poruchy rytmu - bradykardii, junkční rytmus a dokonce i asystolii. Zatímco srdeční výdej na počátku klesá, zvyšuje se krevní tlak (dále TK) na úrovni karotid v důsledku působení centrifugálních sil. Karotické baroreceptory tedy indikují hypertenzní hodnoty a vagovou regulací dochází ke kompenzační bradykardii s dalším poklesem srdečního výdeje a následné hypotenzi, vedoucí až k asystolii (Berne, 1998; Bullock, 1995). Stimulace va-gu vede k další periferní a splanchnické vasodilataci a poklesu periferní resistance. To dále snižuje srdeční návrat a výdej a zhoršuje mechanické poražování nitrosrdečních struktur (subendokardialní krvácení). Ukončení -Gz zátěže představuje rovněž fyziologický inzult: náhlé zastavení rotace vede k prudkému snížení TK na úrovni mozku a fyziologické zpoždění reakce sympa-

tiku vede k nekompenzované hypotenzi mozku. Riziko synkopy a výsledné hypoxie mozku je tedy nejvyšší bezprostředně po ukončení rotace (Dehart, 1985; Ernsting et al, 1999).

## Respirační systém

Lidské subjekty, často referovaly o dechových obtížích spojených s hyperventilací při zátěži rovně nebo vyšší než -2,5Gz. Posun bránice a břišního obsahu směrem vzhůru vede ke komprezi plic, což zvyšuje plicní práci a zvyšuje riziko ateletáz. Efekt prolongované stimulace vagu vede k poklesu plicní vaskulární resistance, plicnímu městnání a vzniku plicního edému. Finálně ateletatický a edematózní plicní terén způ-sobuje nedostatečné oxysilování krve v důsledku poruchy poměru ventilace – perfuze. Prolouloužená -Gz expozice vede také ke krvácení do plicní tkáně (Ernsting et al, 1999; Ernsting, 2000; Gradwell, 2000). V cévním systému plic rovněž vznikají masivně tromby, což zvyšuje kapilární transsudaci a riziko vzniku edému.

## Zrak

Oční příznaky, trvání i návrat jsou velmi individuální. Mohou se objevit i při nízkých hodnotách -Gz zátěže. Nejdůležitější reakce zraku na -Gz zátěž: nystagmus, rozmazané vidění se ztrátou zrakové ostrosti. Nystagmus a rozmazané vidění se významně zvyšuje při hodnotách otáčení 100/s nebo 1,7 ot/min s regeneračním časem 5 – 10 s. Při hodnotách 300/s nebo 5 ot/min se objevuje závažnější postižení s regeneračním návratem za 15 – 20 s. Při studiích na psech se při 150 ot/min objevilo významné krvácení do spojivek. U opic se při expozici -40Gz po dobu 30 – 60s objevily těžké otoky a krvácení do víček (které bránilo ve vidění) a závažná poškození sítnice (Pattarini et al., 2013). Krvácení do spojivek a poškození sít-nice bylo pozorováno i u lidí při bungee jumpingu. Krvácení dobře koreluje s pocity bolestí tkání a bolestmi hlavy. Při rotaci 70 – 100 ot/min (odpovídající přetížení -2,5 až -3,5Gz) přesahuje nitrooční tlak hodnotu TK na úrovni sítnice se všemi fyziologickými důsledky. Meze tolerance jsou dosaženy při zátěži 80 – 110 ot/min nebo odpovídajícímu přetížení -2,5 až -4Gz (Ernsting, 2000; Pattarini et al., 2013).

## Centrální nervový systém

-Gz zátěž vede k přesunu krve do mozku. Za normálních okolností dochází, při zvýšení TK, k ce-rebrální vazokonstrikci. Studie na zvířatech však prokázaly, že -Gz zátěž „přetlačí“ vazokonstrukci a vede k vazodilataci, což spolu se snížením žilního návratu (důsledek působení centrifugálních sil) vede k městnání na úrovni mozku. Hypertenze vede k extravazální transsudaci a k masivním edémům a krvácení do mozkové tkáně a tkání krku (Pattarini et al., 2013). Posmrtné zvířecí studie prokázaly četná krvácení a otok v celém mozku. Po vysokých a opakovaných -Gz zátěžích se objevovala v mozkové tkáni ložiska demyelinizace a dokonce i subarachnoidální krvácení (Pattarini et al., 2013). U lidí převažují pocity tlaku v hlavě a bolesti hlavy, spolu s nepříjemným pocitem otoku měkkých tkání obličeje a krku. Tyto příznaky jsou limitujícími faktory tolerance. Na počátku a na konci -Gz zátěže (někdy i při dlouhodobé zátěži) jsou popisovány závratě, spojené s nevolností a zvracením a následným poklesem výkonnosti, což v případě člověka oblečeného do plně kompenzovaného skafandru představuje bezpečnostní a provozní riziko. Může se rovněž objevit zmatenosť a situační neorientovanost (Gradwell, 2000; West, 2013). Zátěž -Gz rovněž limituje pohyblivost končetin a jejich koordinované pohyby. Rotace významně omezuje schopnost korekce polohy těla, zejména na svém počátku. Hranice lidské odolnosti nejsou obecně přímo úměrné rychlosti rotace. Opakování expozice zátěži vedou ke zlepšování operačního výkonu a zkracování času orientace (Dehart, 1985; Ernsting et al, 1999; Horak et al, 2000).

## Diskuse

Potenciál rotační akcelerační zátěže spočíval v přípravě protokolů prevence rotace, výstroje a výcvikového programu pro nestabilní let. Minimalizace vzniku rotace: zaujetí konstantní pozice s rovnýma nohami do V úhlu 300 od sebe, s horními končetinami napřímenými a připojenými podél těla ve stejném úhlu k trupu. Tato poloha, známá jako „delta“, zvyšuje rychlosť sestupu, ale zachovává stabilitu těla a posunem centra aerodynamického tlaku snižuje nápor na lidské tělo (obr. č. 2).



Obrázek č.2 - Letová poloha - tzv. delta

Tato pozice je schopna řešit rotace při subsonických rychlostech. Bylo provedeno nesčetné množství tréninkových seskoků z výšek v rozmezí 10 000 až 27 000 ft bez i s hermetizovaným skafandrem a plnou výstrojí. Tyto seskoky prokázaly schopnost stabilizovat let a snížit mechanické nároky na lidské tělo. Umístění přístrojového vybavení na těle parašutisty hraje významnou roli. Proto bylo zvoleno umístění přístrojů na hrudníku pokud možno co nejdále od hlavy (co design skafandru umožňoval) aby se tak minimalizovala možnost rotace. Finální těžiště se tak posunulo na úroveň srdce. Toto snížení efektu –Gz zátěže ale vedlo ke zvýšení dopadu +Gz zátěže na dolní polovinu těla. Efekt přesunu krevního objemu do dolní poloviny těla a snížení žilního návratu však nepřevažuje benefit sníženého rizika –Gz zátěže.

Spouštěcí zařízení aerodynamických prvků bylo vyvinuto, aby reagovalo na rotaci větší než -3,5 Gz (měřeno na ruce) trvající déle než 6 s, které vede ke ztrátě kontroly rukou. Spouštění je aktivováno s 38s zpozděním po opuštění kapsuly – to umožňuje sklesání na výšku pod 30 000 ft. Rídká atmosféra nad touto výškou nezaručuje naplnění stabilizačních chlopní a padáčků – tím se zvyšuje riziko zapletení a stran-gulace ve šnůrách padáčků. V rámci testování a výcviku bylo provedeno celkem 150 seskoků z toho 10 s indukovanou rotací, při které byl testován spouštěcí a stabilizační systém. Uvedené systémy však negativně ovlivňují 100% ochranu před důsledky rotace.

## Závěr

- ▶ Znalosti o působení –Gz přetížení na lidský organismus nejsou v současnosti dostačující a jejich výzkum je potřebný.
- ▶ Patofiziologie –Gz zátěže vede k typickým předvídatelným a léčitelným změnám zdravotního stavu.
- ▶ Baumgartner se s při svém finálním skoku do rotace skutečně dostal:

po 40 s volného pádu došlo k instabilitě letu s rotací podle osy x s maximální expozicí 60 ot/min (-2Gz) a délku trvání 35s.

- ▶ Rotace nespustila automatický stabilizační systém a parašutista stabilizoval let sám aerodynamickými korekčními pohyby končetinami ve výše umožňující jejich účinnost.
- ▶ Obavy z negativního efektu rotace se tedy naplnily.
- ▶ Pozemní lékařský tým byl připraven k zásahu podle připravených protokolů.
- ▶ Výškové a kosmické operace vyžadují pohotovostní a lékařské plánování a postupy.
- ▶ Předložené algoritmy lze pro tyto účely využít.
- ▶ Uvedená problematika má hluboký přesah do oblasti kosmické medicíny.

## Referenční seznam

Berne, M.R., and Levy, M. N. (1998). *Physiology*. 4<sup>th</sup> ed. Mosby, Inc., 1131 s.

Bullock, J., Boyle, J., and Wang, M. B. (1995). *Physiology* 3<sup>rd</sup> ed., Williams & Wilkins, 641 s.

Dehart, R.L. (1985). *Fundamentals of Aerospace Medicine*. LEA & FEBIGER.; Philadelphia, 985.

Ernsting, J., Nicholson, A. N., and Rainford, D.J. (1999). *Aviation Medicine* 3<sup>rd</sup> ed. Butterworth & Heine-mann, 1999, 703 s.

Ernsting, J. (2000). *Present and Future Compromises in Altitude Protection in Combat Aircraft. Human Factors & Medicine Panel Symposium: „Operational Medical Issues in Hypo and Hyperbaric Conditions“*, Toronto, Canada.

Gradwell, D. (2000). *Hypobaric Training for High Altitude Agile Aircraft. Human Factors & Medicine Panel Symposium: „Operational Medical Issues in Hypo and Hyperbaric Conditions“*, Toronto, Canada.

Horak, F., Kuo, A., and Peterson, W.B. (2000). *Postural adaptation for altered environments, tasks, and intentions*. Springer, . 267-281. In Biomechanics and neural control of posture and movement. NLM Unique ID: 101131033, (DNLM) NASA.

Knapik, J.J, Steelman, R., Grier, T., Graham, B., Hoedebecke, K., Rankin, S., Klug, K., Proctor, S. and Jones, B.H. (2011). Military parachuting injuries, associated events, and injury risk factors. *Aviat Space Environ Med*; 82:797 – 804.

Nilsson, J., Friden, C., Buren, V., and Äng, B.O. (2011). Development and validation of a web-based questionnaire for surveying skydivers. *Aviat Space Environ Med*; 82:610 – 4.

Pattarini, J.M., Blue, R.S., Aikins, L.T, Law, J., Walshe, A.D., Garbino, A., Turney, M.W., and Clark, J.B. (2013). Flat spin and negative Gz in high-altitude free fall: pathophysiology, prevention, and treatment. *Aviat Space Environ Med*; 84:961 – 70.

West, J. B. et al. (2013). *High altitude medicine and physiology. Fifth edition*. Boca Raton : CRC Press/Taylor & Francis Group, , 563 pages, ISBN: 9781444154320.

West, J.B. et al. (1981) *High altitude physiology*. Hutchinson Ross

# PROPEDEUTIKA TVORBY SYSTEMATICKÉHO REVIEW; VÝZNAM PROTOKOLU SYSTEMATICKÉHO REVIEW

Klugarová J.<sup>1,2,3</sup>, Klugar M.<sup>1,2,3</sup>, Tučková D.<sup>1</sup>, Marečková J.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Czech Republic (Middle European) Centre for Evidence-Based Health Care: An Affiliated Centre of The Joanna Briggs Institute, Ústav sociálního lékařství a veřejného zdravotnictví, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

<sup>2</sup> Centrum vědy a výzkumu, Fakulta zdravotnických věd, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, Česká republika

<sup>3</sup> School of Translational Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Adelaide, Australia

## Abstrakt

Systematická review představují nejvýznamnější a nejhodnotnější typ studie v rámci úrovně vědeckých důkazů. Základem tvorby systematického review jsou explicitní a rigorózní metody identifikace, výběru a kritického hodnocení kvality relevantních primárních studií, dále pak zpracování, analýzy a syntézy vědeckých důkazů získaných z těchto studií. Hlavním cílem tohoto propedeuticky zaměřeného příspěvku je poukázat na význam systematického review v rámci přístupu Evidence-Based Medicine a přiblížit rigorózní a systematickou metodiku jeho tvorby. Metodologické minimum pro tvorbu systematického review je stanoveno doporučeným postupem PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Každé systematické review by mělo být založeno na publikovaném protokolu, protože publikovaný protokol systematického review prochází recenzním řízení a výrazně posiluje robustnost, snižuje riziko vzniku chyby a zkreslení výsledků. Systematická review představují velmi významné pojítko mezi vědeckými důkazy a jejich implementací do klinické praxe. Evidence-Based přístup je možné použít ve všech oblastech, v nichž se tvoří kvalitní primární vědecké důkazy.

**Klíčová slova:** systematické review, protokol, kritické hodnocení, meta-analýza, EBM

## PROPAEDEUTIC OF SYSTEMATIC REVIEW DEVELOPMENT; IMPORTANCE OF SYSTEMATIC REVIEW PROTOCOL

Klugarová J.<sup>1,2,3</sup>, Klugar M.<sup>1,2,3</sup>, Tučková D.<sup>1</sup>, Marečková J.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> The Czech Republic (Middle European) Centre for Evidence-Based Health Care: An Affiliated Centre of The Joanna Briggs Institute, Department of Social Medicine and Public Health, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacký University Olomouc, Czech Republic

<sup>2</sup> Centre for Research and Science, Faculty of Health Sciences, Palacký University Olomouc, Czech Republic

<sup>3</sup> School of Translational Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Adelaide, Australia

## Abstract

Systematic reviews are classified as the most important and valuable type of publication within the level of evidence hierarchy. In the systematic review, explicit and rigorous methods are used for identification, selection and critical evaluation of relevant studies and for data collection and analysis of findings gained from those studies. The main aim of this propedeutically focused presentation is to highlight the importance of systematic review methodology within Evidence-Based Medicine approach and to explain the rigorous and systematic methods of its development. The evidence-based minimum for preparation of systematic review

is set in Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines. Every systematic review should be based on the published systematic review protocol because the published protocol is peer-reviewed and improves robustness, reduces a risk of bias and confounding. Systematic reviews are a very important link between scientific evidence and its implementation into clinical practice. This rigorous approach to synthesizing scientific evidence can be used in all areas where high quality primary research is available.

**Keywords:** systematic review, protocol, critical appraisal, meta-analysis, EBM

## Introduction

Systematic reviews (SRs) as they synthesize scientific evidence are, in the context of Evidence-Based Medicine (EBM), classified among the most important types of publications within the level of evidence hierarchy. Best practice is represented by two leading organizations in the field of SR development and methodology worldwide "The Cochrane Collaboration" and "The Joanna Briggs Institute" (JBI). Systematic review (SR) systematically and rigorously pools together global evidence from high-quality primary studies (Klugar, Klugarová, & Marečková, 2014; Klugarová, Klugar, Marečková, & Hájek, 2015). In the SR, explicit and rigorous methods are used for identification, selection and critical evaluation of relevant studies and for data collection and analysis of findings gained from those studies.

The main aim of this propedeutically focused presentation is to highlight the importance of systematic review methodology and to explain the rigorous and systematic methods of its development.

## Methods

The evidence-based minimum for preparation of SR is set in Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines (Liberati et al., 2009), which are endorsed by both the Cochrane Collaboration and JBI. These organizations maintain the following up to date guidelines for conducting SRs according to their specific recommendations: (i) "Cochrane handbook for systematic reviews of interventions," (Higgins & Green, 2008) (ii) "Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual" (JBI, 2014). Every SR has to be according to JBI (2014), Higgins and Green (2008) based on the published SR protocol because the published protocol is peer-reviewed it improves methodological robustness, credibility and so reduces a risk of bias and confounding. Publications both protocol and also the full SR enables to identify any changes in methods, which the authors did during the development SR and assess whether these changes were appropriate, adequately justified, and whether could influence / distort the results of the SR (Higgins & Green, 2008; JBI, 2014; Liberati et al., 2009; Moher et al., 2015; Shamseer et al., 2015).

The SR protocol contains the review title, names of reviewers with their affiliations, the review question, background, inclusion criteria, specific description of planned search strategy, assessment of methodological quality, data collection and data synthesis, conflicts of interest, acknowledgements, references and appendices illustrating the critical appraisal checklist and data extraction form to be used in the SR; as e. g. in already published protocols in The JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports (Klugarova et al., 2014; Klugarova, Klugar, Gallo, Mareckova, & Kelnarova, 2015).

## **Results and conclusion**

SRs are a very important link between scientific evidence and its implementation into clinical practice. This rigorous approach to synthesizing scientific evidence can be used in all areas where high quality primary research is available (Klugarová, Klugar, & Marečková, 2015).

SRs are placed at the top of that hierarchy; however, not every review including the phrases „systematic review“ or „systematic synthesis“ or „meta-analysis“ in their title is truly „systematic“. Many narrative reviews of the literature reflect the author's prejudices or discourse which is preferred by some school or group and are therefore inherently biased (Gillam & Siriwardena, 2014), and it must be remembered that publication bias of primary research may be present in many journals (Easterbrook, Berlin, Gopalan, & Matthews, 1991). Conversely, well conducted SRs that are based on an a priori protocol and employ more than one reviewer at each of the key stages reduces bias; hence their top position in the evidence hierarchies. Of course SRs, like primary research, can vary in their quality, which is why critical appraisal checklists exist for SRs themselves (Fitzgerald & Coop, 2011; Higgins & Green, 2008; JBI, 2014). It has been reported that with the exception of Cochrane reviews, only 11% of SR authors work from a protocol (Moher et al., 2015). This makes it difficult to judge whether modifications to review processes made during the course of the review have been appropriate or not (Moher, Liberati, Tetzlaff, Altman, & Group, 2009). It is for this reason that leading organizations like the JBI and Cochrane Collaboration require all reviews to be based on an a priori published protocol, the content of which has been illustrated by the examples in this paper.

## **Acknowledgement**

This paper was supported by project „2015 Hypertension as one of the most risk factors in development of cardiovascular diseases“ (IGA\_LF\_2015\_024).

## **References**

- Easterbrook, P. J., Berlin, J. A., Gopalan, R., & Matthews, D. R. (1991). Publication bias in clinical research. *Lancet*, 337(8746), 867-872.
- Fitzgerald, A., & Coop, C. (2011). Validation and Modification of the Graphical Appraisal Tool for Epidemiology (GATE) for Appraising Systematic Reviews in Evidence-based Guideline Development. *Health Outcomes Research in Medicine*, 2(1), e51-e59. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ehrm.2010.11.001>
- Gillam, S., & Siriwardena, A. N. (2014). Evidence-based healthcare and quality improvement. *Qual Prim Care*, 22(3), 125-132.
- Higgins, J., & Green, S. (2008). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. Oxford: Wiley-Blackwell.
- JBI. [2014]. *Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual: 2014 edition*. The University of Adelaide, South Australia: The Joanna Briggs Institute.
- Klugar, M., Klugarová, J., & Marečková, J. (2014). The Importance of Evidence-Based Healthcare and Systematic Review for Practice. In M. Hájek, F. Novomeský, V. Beran, & M. Klugar

(Eds.), *Sborník přednášek z Mezinárodního workshopu hyperbarické medicíny založené na důkazech a IV. Ostravských dnů hyperbarické medicíny* (1 ed., pp. 7-8). Rožnov pod Radhoštěm: Ostravská Univerzita v Olomouci, Lékařská fakulta.

Klugarova, J., Hood, V., Bath-Hextall, F., Klugar, M., Mareckova, J., & Kelnarova, Z. (2014). The effectiveness of surgery for adults with hallux valgus deformity: a systematic review protocol. *The JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports*, 12(7), 3-11.

Klugarova, J., Klugar, M., Gallo, J., Mareckova, J., & Kelnarova, Z. (2015). The effectiveness of inpatient physical therapy compared to outpatient physical therapy in older adults after total hip replacement in the post-discharge period: a systematic review protocol *The JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports* (In Press).

Klugarová, J., Klugar, M., & Marečková, J. (2015). Propedeutika tvorby systematických review; dílčí výsledky systematického review efekt operační korekce hallux valgus (In Press). *Profese On-line*, 1(8).

Klugarová, J., Klugar, M., Marečková, J., & Hájek, M. (2015). Metodologie tvorby systematických review; Efekt hyperbarické oxygenoterapie na úmrtnost pacientů po kraniotraumatu: dílčí výsledky systematického review. *Ceska a Slovenska Neurologie a Neurochirurgie* (In Press).

Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gotzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., . . . Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *Plos Medicine*, 6(7). doi: 10.1371/journal.pmed.1000100

Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & Group, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Plos Medicine*, 6(7), e1000097. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097

Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., . . . Group, P.-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*, 4, 1. doi: 10.1186/2046-4053-4-1

Shamseer, L., Moher, D., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., . . . Group, P.-P. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. *BMJ*, 349, g7647. doi: 10.1136/bmj.g7647

# **ÚČINNOST HYPERBARICKÉ OXYGENOTERAPIE NA ÚMRTNOST DOSPĚLÝCH S TRAUMATICKÝM PORANĚNÍM MOZKU: NÁHLED NA PŘEDBĚŽNÉ VÝSLEDKY SYSTEMATICKÉHO REVIEW**

Klugar M.<sup>1,2,3</sup>, Klugarová J.<sup>1,2,3</sup>, Jana Marečková J.<sup>1,2</sup>, Tučková D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> České centrum EBHC; přidružené centrum JBI Adelaide, Ústav sociálního lékařství a veřejného zdravotnictví, Lékařská fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Česká republika

<sup>2</sup> Centrum vědy a výzkumu, Fakulta zdravotnických věd, Univerzita Palackého v Olomouci, Česká republika

<sup>3</sup> School of Translational Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Adelaide, Austrálie

## **Abstrakt**

Traumatické poranění mozku je celosvětový vážný zdravotní problém napříč všemi věkovými kategoriemi. V Evropě a Severní Americe je incidence 150 – 300 případů přepočteno na 100 000 obyvatel za rok. Světová zdravotnická organizace předpovídá, že traumatické poranění mozku bude třetí nejčastější příčinou úmrtí a postižení do roku 2020. U traumatického poranění mozku, dochází k ischémii mozkových tkání během prvních 24 hodin. To vede k mitochondriální disfunkci a hypometabolismu mozkových buněk. Použití hyperbarického kyslíku by mělo teoreticky vést ke snížení poškození mozkových buněk a tedy také ke snížení úmrtnosti.

Review otázka: Jaká je účinnost hyperbarického oxygenoterapie v porovnání se standardním režimem intenzivní péče na úmrtnost pacientů s traumatickým poraněním mozku? Tří stupňová vyhledávací strategie, která byla upravena pro 13 databází publikovaných i nepublikovaných studií byla použita v rámci tohoto systematického reviewu. Metodologie Joanna Briggs institutu byla použita pro hodnocení relevance, kritické hodnocení, extrakci a syntézu dat.

V odborné literatuře existuje několik studií různé úrovně vědeckého důkazu a kvality, které mají protichůdné výsledky účinnosti HBOT u akutních nebo chronických pacientů s traumatickým poraněním mozku. Výsledky našeho systematického reviewu s rozsáhlou vyhledávací strategií bez jazykového omezení publikací by měla jako studie s nejvyšší úrovní vědeckého důkazu vnést světlo do této problematiky a informovat praxi.

## **THE EFFECTIVENESS OF HYPERBARIC OXYGEN THERAPY ON MORTALITY IN ADULTS WITH TRAUMATIC BRAIN INJURY: PREVIEW OF PRELIMINARY RESULTS OF SYSTEMATIC REVIEW**

Klugar M.<sup>1,2,3</sup>, Klugarová J.<sup>1,2,3</sup>, Jana Marečková J.<sup>1,2</sup>, Tučková D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> The Czech Republic (Middle European) Centre for Evidence-Based Health Care: An Affiliated Centre of The Joanna Briggs Institute, Department of Social Medicine and Public Health, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacký University Olomouc, Czech Republic

<sup>2</sup> Centre for Research and Science, Faculty of Health Sciences, Palacký University Olomouc, Czech Republic

<sup>3</sup> School of Translational Health Sciences, Faculty of Health Sciences, University of Adelaide, Australia

## **Abstract**

Traumatic brain injury (TBI) is serious health related problem in whole world across all ages. In Europe and North America is incidence 150 – 300 cases per 100 000 per year. World

Health Organization prognosticates TBI to be the third cause of global mortality and disability by 2020.

TBI ischemia of brain tissue usually occurs within first 24 hours. This leads to mitochondrial dysfunction and hypometabolism of brain cells. Theoretically the usage of hyperbaric oxygen therapy (HBOT) should lead to decrease of brain cells damage and so mortality.

The review question: What is the effectiveness of HBOT compared to standard intensive care regimen on mortality of patients with traumatic brain injury?

The three step search strategy was utilized in this paper for 13 databases of published and unpublished studies. Joanna Briggs Institute methodology was used for paper retrieval, critical appraisal, data extraction and data synthesis.

There exist several studies of variable level of scientific evidence and quality with contrary results of effectiveness of HBOT in TBI (acute or chronic) patients. The results of our systematic review with extensive search strategy not limited to any language as study with highest level of scientific evidence shall bring the light into this issue and inform the practice.

## Background

Traumatic Brain Injury (TBI) is a major health problem worldwide and across all ages. It is a major cause of death and disability (Bruns & Hauser, 2003; Maas, Marmarou, Murray, Teasdale, & Steyerberg, 2007). According to the Czech Republic Institute of Health Information and Statistics TBI occurs at a frequency of 150 cases per 100,000 inhabitants which is about 36 000 per year (in 2009 – 32,589 cases was hospitalized) (ÚZIS, 2013). North America and Europe has an incidence of TBI of 150 – 300 cases per 100 000 people per year. Over 200 cases per 100 000 are admitted to hospital in Europe. The incidence is even worse in low-income and middle-income countries (Neurotrauma, 2012). The World Health Organization prognosticates TBI to be the third highest cause of global mortality and disability by 2020 (WHO, 2002).

Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is not used as standard therapy (Adamides et al., 2006; Sarah B. Rockswold, Rockswold, Zaun, & Liu, 2013), although HBOT as a potential treatment has been discussed since beginning of Hyperbaric Medicine (Helms et al., 2011). According to Huang and Obenaus (2011) HBOT was shown as neuro-protective in many neurological diseases. Theoretically the usage of HBOT should lead to decrease in brain cell damage and so mortality. Greater pressure than atmospheric increases oxygen delivery to brain cells, so enhance aerobic metabolism, which leads to restoration of mitochondrial functions (Rockswold et al., 2013). Complete protocol is available elsewhere (Kluger et al., 2015).

## Methods

**The review question:** *What is the effectiveness of HBOT compared to standard intensive care regimen on mortality of patients with traumatic brain injury?*

Inclusion criteria

Types of participants

This review considered adults (over 18 years) with craniotrauma (mild, moderate, severe; acute and chronic) - patients with isolated craniotrauma and with craniotrauma in context of polytrauma.

Children (under 18 years) and adults with atraumatic brain injury will be excluded.

## Types of intervention

This review considered studies that investigate effect of hyperbaric oxygen therapy - 1,5 ATA to 3 ATA for 30 to 120 minutes, up to 40 sessions per patient, with different times of HBOT application at acute and chronic craniotrauma, according to the critical status of patients:

- 1) Within first 24 hours
- 2) After 24 hours
- 3) After 48 hours
- 4) After „stabilization“ of patients (one week)
- 5) Chronic status

## Comparison

Standard intensive care regimens including: Neurointensive care monitoring, head elevation to 30°, sedation, paralysis, barbiturate – induced coma, cerebrospinal fluid drainage, artificial ventilation – appropriate oxygenation, osmotherapy, therapeutic hypothermia, hyperventilation, decompressive craniectomy.

## Types of outcomes

This review considered studies that include the following outcome measures: Overall mortality –long-term effect on cognitive-behavioral functions measured by any standardized scales any time after HBOT and oxygen supply improvement for brain tissues measured by e.g. oxygen tension in brain tissue (PbrO<sub>2</sub>; local), cerebral venous oxygen saturation monitoring (SjO<sub>2</sub>; global), cerebral perfusion pressure (CPP), intracranial pressure (ICP) values before HBOT and after HBOT.

## Types of studies

This review considered both experimental and epidemiological study designs including randomized controlled trials, non-randomized controlled trials, quasi-experimental, before and after studies, prospective and retrospective cohort studies, case control studies and analytical cross sectional studies for inclusion.

## The search strategy

The search strategy aimed to find both published and unpublished studies. A three-step search strategy was utilized in this review. Studies published in all languages were considered for inclusion in this review if they contain an abstract written in English, Czech or Slovak. The databases searched included: Medline Ovid MEDLINE(R), Cinahl [CINAHL® Plus with Full Text], Embase, Tripdatabase, Nursing ovid, Web of Science, Pedro, Bibliographica Medica Czechoslovaca.

The search for unpublished studies included: MedNar, ClinicalTrials.gov, Current Controlled Trials, Cos Conference Papers Index, dissertation theses (ProQuest).

## Assessment of methodological quality

Papers selected for retrieval were assessed by two independent reviewers for methodolo-

gical validity prior to inclusion in the review using standardized critical appraisal instruments from the JBI.

## Data collection

Data were extracted from papers included in the review using the standardized data extraction tool from JBI. Two reviewers extracted data independently.

## Data synthesis

Quantitative data will, where possible, be pooled in statistical meta-analysis using JBI-MAStARI tool. All results will be subject to double data entry. Effect sizes expressed as odds ratio (for categorical data) and weighted mean differences (for continuous data) and their 95% confidence intervals will be calculated for analysis.

## Results

By extensive systematic search in 13 databases of published and unpublished studies we found 8144 papers, from this 2210 duplicates were excluded. 5934 papers were screened by title and abstract for its relevancy by two independent reviewers. 225 potentially relevant papers were retrieved and screened by full texts. 108 papers were retrieved for critical appraisal. Several relevant papers were written in Russian and Chinese languages and the team is waiting for translation to complete data extraction and data synthesis. So far studies published in English language were critically appraised, and data were extracted. Those studies vary in level of scientific evidence and in quality. And bring contrary results in the issue of effectiveness of HBOT in TBI patients as in acute so in chronic status with mild, moderate and severe TBI.

## Discussion and conclusion

The clinical studies (varied design – RCT's, quasi-experimental, case studies) were focused on assessment of HBOT effect on damaged brain as result of TBI. Patients included into studies suffered by acute or chronic TBI from mild to severe degree, both civilian and military environment. The adults with TBI of varied causes were involved. The size of patients groups were below 170 patients. The examined HBOT was set from 1,5 ATA for 60 minutes to 2,4 ATA for 90 minutes. Patients received HBOT during 30 – 40 sessions (Golden, Golden, & Neubauer, 2006; Harch et al., 2012; Rockswold, Ford, Anderson, Bergman, & Sherman, 1992; Rockswold et al., 2001; Rockswold et al., 2013; Rockswold et al., 2010; Sahni, Jain, Prasad, Sogani, & Singh, 2012; Wolf, Cifu, Baugh, Carne, & Profenna, 2012). Most of studies investigated effect of HBOT alone or as additional therapy to standard regimen [Harch et al., 2012; Rockswold et al., 1992; Rockswold et al., 2001; Sahni et al., 2012; Stoller, 2011]. Other studies compared outcomes in patients underwent HBOT and patients treated by standard regimen or normobaric hyperoxia (Rockswold et al., 2010; Wolf et al., 2012). Rockswold et al. (2013) compared combination of HBOT and normobaric hyperoxia versus standard regimen. Investigators focused on heterogeneous outcomes: using scales - Glasgow Outcome Scale (GOS) (Rockswold et al., 2013), Disability Rating Scale (DRS), Rancho Los Amigos Scale (RLAS) (Sahni et al., 2012), Glasgow Coma Scale (GCS) sessions (Golden et al., 2006; Harch et al., 2012; Rockswold et al., 1992; Rockswold et al., 2001; Rockswold et al., 2013; Rockswold et al., 2010; Sahni et al., 2012; Wolf et al., 2012); monitored variables – intracranial pressure (ICP), continuous metabolic monitoring (micro dialysis: lactate, glucose, pyruvate), critical

level of brain tissue PO<sub>2</sub>, cerebral blood flow (CBF), oxygen toxicity markers (IL-6, IL-8), mortality (Rockswold et al., 2001; Rockswold et al., 2013; Rockswold et al., 2010).

Authors debated whether the 1.3 ATA with AIR is considered as sham HBOT or actual potentially therapeutic treatment (Boussi-Gross et al., 2013; Harch, 2013a; Harch, 2013b; Weaver, Cifu, Hart, Wolf, & Miller, 2013; Wolf et al., 2012).

The results of our systematic review with extensive search strategy not limited to any language as the study with highest level of scientific evidence shall bring the light into this issue and inform the practice. However, we have to wait to have complete picture with all identified relevant papers translated.

## References

- Adamides, A. A., Winter, C. D., Lewis, P. M., Cooper, D. J., Kossman, T., & Rosenfeld, J. V. (2006). Current controversies in the management of patients with severe traumatic brain injury. *ANZ journal of surgery*, 76(3), 163-174.
- Boussi-Gross, R., Golan, H., Fishlev, G., Bechor, Y., Volkov, O., Bergan, J., . . . Ben-Jacob, E. (2013). Hyperbaric Oxygen Therapy Can Improve Post Concussion Syndrome Years after Mild Traumatic Brain Injury - Randomized Prospective Trial: e79995. *PloS one*, 8(11). doi: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0079995>
- Brunns, J., & Hauser, W. A. (2003). The epidemiology of traumatic brain injury: a review. *Epilepsia*, 44(s10), 2-10.
- Golden, Z., Golden, C. J., & Neubauer, R. A. (2006). Improving neuropsychological function after chronic brain injury with hyperbaric oxygen. *Disability and rehabilitation*, 28(22), 1379-1386.
- Harch, P. G. (2013)a. Department of Defense trials for hyperbaric oxygen and TBI: Issues of study design and questionable conclusions. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 40(5), 469-470.
- Harch, P. G. (2013)b. Hyperbaric oxygen therapy for post-concussion syndrome: contradictory conclusions from a study mischaracterized as sham-controlled. *Journal of neurotrauma*, 30(23), 1995-1999.
- Harch, P. G., Andrews, S. R., Fogarty, E. F., Amen, D. G., Pezzullo, J. C., Lucarini, J., . . . Van Meter, K. W. (2012). A phase I study of low-pressure hyperbaric oxygen therapy for blast-induced post-concussion syndrome and post-traumatic stress disorder. *Journal of neurotrauma*, 29(1), 168-185. doi: <http://dx.doi.org/10.1089/neu.2011.1895>
- Helms, A., Evans, A. W., Chu, J., Sahgal, A., Ostrowski, R., Sosiak, T., . . . Whelan, H. (2011). Hyperbaric oxygen for neurologic indications Action plan for multicenter trials in: stroke, traumatic brain injury, radiation encephalopathy & status migrainosus. *Undersea & Hyperbaric Medicine*, 38(5), 309-319.
- Huang, L., & Obenaus, A. (2011). Hyperbaric oxygen therapy for traumatic brain injury. *Medical Gas Research*, 1(1).
- Klugar, M., Nytra, I., Bocková, S., Klugarová, J., Kelnarová, Z., & Marečková, J. (2015). The effectiveness of hyperbaric oxygen therapy on mortality in adults with craniotrauma: a sys-

tematic review protocol. *The JBI Database of Systematic Reviews and Implementation Reports*, 12(12), 54-66.

Maas, A. I., Marmarou, A., Murray, G. D., Teasdale, S. G. M., & Steyerberg, E. W. (2007). Prognosis and clinical trial design in traumatic brain injury: the IMPACT study. *Journal of neurotrauma*, 24(2), 232-238.

Neurotrauma, J. (2012). The changing landscape of traumatic brain injury research. *J Neurotrauma*, 29, 32-46.

Organization, W. H. (2002). Projections of mortality and burden of disease to 2030: deaths by income group. *Projections of Mortality and Burden of Disease to, 2030*.

Rockswold, G. L., Ford, S. E., Anderson, D. C., Bergman, T. A., & Sherman, R. E. (1992). Results of a prospective randomized trial for treatment of severely brain-injured patients with hyperbaric oxygen. *Journal of neurosurgery*, 76(6), 929-934.

Rockswold, S. B., Rockswold, G. L., Vargo, J. M., Erickson, C. A., Sutton, R. L., Bergman, T. A., & Biros, M. H. (2001). Effects of hyperbaric oxygenation therapy on cerebral metabolism and intracranial pressure in severely brain injured patients. *Journal of neurosurgery*, 94(3), 403-411.

Rockswold, S. B., Rockswold, G. L., Zaun, D. A., & Liu, J. (2013). A prospective, randomized Phase II clinical trial to evaluate the effect of combined hyperbaric and normobaric hyperoxia on cerebral metabolism, intracranial pressure, oxygen toxicity, and clinical outcome in severe traumatic brain injury. *Journal of neurosurgery*, 118(6), 1317-1328.

Rockswold, S. B., Rockswold, G. L., Zaun, D. A., Zhang, X., Cerra, C. E., Bergman, T. A., & Liu, J. (2010). A prospective, randomized clinical trial to compare the effect of hyperbaric to normobaric hyperoxia on cerebral metabolism, intracranial pressure, and oxygen toxicity in severe traumatic brain injury. *Journal of neurosurgery*, 112(5), 1080-1094.

Sahni, T., Jain, M., Prasad, R., Sogani, S. K., & Singh, V. P. (2012). Use of hyperbaric oxygen in traumatic brain injury: retrospective analysis of data of 20 patients treated at a tertiary care centre. *British journal of neurosurgery*, 26(2), 202-207.

Stoller, K. P. (2011). Hyperbaric oxygen therapy (1.5 ATA) in treating sports related TBI/CTE: Two case reports. *Medical Gas Research*, 1(1).

ÚZIS, Č. (2013). Zdravotnická ročenka České republiky 2012: Praha: ÚZIS ČR.

Weaver, L. K., Cifu, D., Hart, B., Wolf, G., & Miller, R. S. (2013). Reply: Department of Defense trials for hyperbaric oxygen and TBI: Issues of study design and questionable conclusions. *Undersea and Hyperbaric Medicine*, 40(5), 471-472.

Wolf, G., Cifu, D., Baugh, L., Carne, W., & Profenna, L. (2012). The effect of hyperbaric oxygen on symptoms after mild traumatic brain injury. *Journal of neurotrauma*, 29(17), 2606-2612.

# MINIATURNÍ HYPERBARICKÉ KOMŮRKY PRO LABORATORNÍ EXPERIMENTY A TESTOVÁNÍ

Bolek L.<sup>1</sup>, Dejmek J.<sup>1</sup>, Bajgar R.<sup>1</sup>, Babuška V.<sup>3</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>, Beneš J.<sup>2</sup>, Tománková K.<sup>1</sup>, Bolek M.<sup>1</sup>, Kolářová H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ústav Lékařské biofyziky, LF UPOL, Olomouc, Česká republika

<sup>2</sup> Ústav biofyziky, LFP UK, Plzeň, Česká republika

<sup>3</sup> Ústav Lékařské Chemie a Biochemie, LFP UK, Plzeň, Česká republika

## Abstrakt

Při experimentech typu *in vitro* se ukazuje jako nepraktické a ekonomicky nevýhodné využívat běžné léčebné hyperbarické komory. Přestože zájem o aplikace zvýšeného tlaku při technickém, biologickém a hlavně medicínském výzkumu stále roste, malé, jednoduché a snadno ovladatelné přetlakové komory do objemu 10 L jsou na trhu jen v omezené míře, a navíc ne vždy vyhovují svými parametry zamýšlenému účelu. Projektový tým Ústavu lékařské biofyziky UP v Olomouci společně s týmem pracovníků z Ústavu biofyziky LF v Plzni přišli s návrhem nové koncepce experimentálního tlakového zařízení, mikro-hyperbaricky komůrky, a následně zkonstruoval dva typy takových přístrojů dle vlastních návrhů. Pro realizaci svých návrhů tým získal dotaci v rámci projektu pre-seed „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“. V současné době na této komůrkách probíhají základní studie využitelnosti pro buněčné a fyzikální experimenty různých charakterů. Tyto studie jsou zaměřeny na objasnění fyzikálně-chemických změn složení kultivačních roztoků (DMEM, HAM's F-12) a pufrů (PBS, HEPES, TBS) v důsledku jejich vystavení odlišným fyzikálním podmínkám hyperbarického prostředí. Jedná se především o změny pH, pO2 a degradaci některých dalších složek, jejichž stabilita je v průběhu kultivace požadována. Dále probíhá testování parametrů a vlastností měřicích systémů vhodných pro sledování měřených veličin v náročném prostředí hyperbarické komory a probíhají pilotní experimenty zaměřené na zjišťování možností ovlivňování vlastností vybraných buněčných typů v průběhu kultivace při vystavení zvýšeného či sníženého tlaku. Výsledky této experimentů budou prezentovány a diskutovány na kongresu ČSHLM. Vývoj byl podpořen projekty „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“, CZ CZ.1.05/2.1.00/01.0030 „Biomedicina pro regionální rozvoj a lidské zdroje“, Programem rozvoje vědních oborů Karlovy Univerzity (projekt P36) a „Biomedicínské centrum Lékařské fakulty v Plzni“, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0076.

**Klíčová slova:** HBO, miniaturní hyperbarická komůrka, biofyzika, laboratorní experimenty, testování

## MINIATURE HYPERBARIC CHAMBERS FOR LABORATORY EXPERIMENTS AND TESTING

Bolek L.<sup>1</sup>, Dejmek J.<sup>1</sup>, Bajgar R.<sup>1</sup>, Babuška V.<sup>3</sup>, Růžička J.<sup>2</sup>, Beneš J.<sup>2</sup>, Tománková K.<sup>1</sup>, Bolek M.<sup>1</sup>, Kolářová H.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Biophysics, Faculty of Medicine, Palacký University Olomouc, Czech Republic

<sup>2</sup> Institute of Biophysics, Faculty of Medicine, Charles University, Pilsen, Czech Republic

<sup>3</sup> Institute of Medical Chemistry and Biochemistry, Faculty of Medicine, Charles University, Pilsen, Czech Republic

## Abstract

For *in vitro* experiments appears to be impractical and uneconomical to use the usual medical hyperbaric chamber. Although interest in the application of increased pressure at

technical, biological and mainly medical research is growing, small, simple and easy to use overpressure chamber with the volume of 10 l are in limiting offer on the market, and do not always meet with parameters to intended purpose. The project team from the Department of Medical Biophysics, Palacky University in Olomouc, together with a team from the Institute of Biophysics, Faculty of Medicine in Pilsen have proposed a new conception of the experimental pressure device, the micro-hyperbaric chamber and constructed two types of such devices according to their own designs. The team gained for the realization of its proposals a grant under the project pre-seed „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“. The chambers are currently used for fundamental usability studies for cell and physical experiments of various characters. The studies are aimed at clarification of physicochemical changes in the composition of the culture solution (DMEM, HAM's F-12) and buffers (PBS, HEPES, TBS) as a result of their exposure to different physical conditions of a hyperbaric environment. This includes primarily the changes of pH, pO<sub>2</sub> and degradation of some other ingredients, whose stability is required during cultivation. Parameters and properties of measuring systems suitable for monitoring the measured values in an extreme environment in hyperbaric chambers are also tested. And also take place the pilot experiments aimed at identifying options to influence the properties of selected cell types in cultivation under exposure of increased or reduced pressure. The results of these experiments will be presented and discussed at the ČSHLM congress. The development was supported by the projects „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“, CZ CZ.1.05/2.1.00/01.0030 „Biomedicína pro regionální rozvoj a lidské zdroje“, Development Programme of scientific disciplines at Charles University (project P36) and „Biomedical Centre of the Medical Faculty in Plzen“ ", reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0076.

**Keywords:** HBO, miniature hyperbaric chamber, biophysics, laboratory experiments, testing

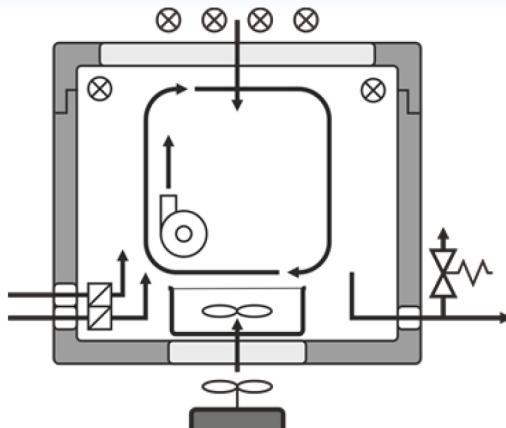
## Úvod

Při experimentech typu *in vitro* se ukazuje jako nepraktické a ekonomicky nevýhodné využívat běžné léčebné hyperbarické komory. Malé, jednoduché a snadno ovladatelné přetlakové komory do objemu 10 l jsou na trhu jen v omezeném mříži, přestože zájem o aplikace zvýšeného tlaku při technickém, biologickém a hlavně medicínském výzkumu stále roste a ne vždy vyhovují svými parametry zamýšlenému účelu. Projektový tým Ústavu lékařské biofyziky UP v Olomouci společně s týmem pracovníků z Ústavu biofyziky LF v Plzni proto navrhnul a zkonstruoval dvě verze přetlakových komůrek, které jsou určeny nejen pro biomedicínské experimenty, ale lze je využít i pro další, např. testovací účely. Pro realizaci zamýšlených cílů tým získal dotaci v rámci projektu pre-seed „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“ (Bolek et al. 2015).

## Metodika

Po formulování myšlenky a definování požadavků na takovýto systém následoval první krok k ověření myšlenky na triviálním modelu komůrky. Výsledkem byla specifikace vlastností takového systému, aby vyhovoval určení. Obrázek 1 zobrazuje schéma našeho návrhu.

Mikro-hyperbarická komůrka obsahuje minimálně dva regulovatelné vstupy pro mísení plynů vnitřní atmosféry a jeden regulovatelný výstup. Koncept umožňuje ovlivňování vnitřní atmosféry, propláchování a regulovatelné změny vnitřního tlaku. Podstatný je koncept uzavírání samotné tlakové nádoby, kdy je pro řadu experimentů potřebný rychlý přístup do vnitřních prostor. Jako nejfektivnější se jeví bajonetový systém uzavírání, který je bezpečný a



Obr. 1. – schematické zobrazení konceptu uHBK

díky vhodnému konstrukčnímu řešení není třeba použít komplikovaný způsob otevřání (např. způsob používaný u autoklávů). Vytvořením průzorů v těle komory, při dodržení konstrukčních zásad pro bezpečné zařízení, vnikla možnost pozorovat a ovlivňovat vnitřní prostředí zvenčí,

předně využití různých typů osvětlení (např. pro potřeby fotodynamické terapie). U typu uHBK2 je navíc možné využít bezkontaktní magnetický způsob míchání vzorku. Dalším významným charakterem našich komůrek je možnost temperace vnitřních prostor, kdy na rozdíl od běžných řešení není temperační výměník uvnitř, ale je efektivně integrován do těla komůrky. Díky vhodnému materiálu těla, konstrukce a izolace od vnějšího prostředí je temperace efektivní a umožňuje rychlou regulaci teploty uvnitř těla. Součástí konstrukce jsou pak další nezbytné prvky, například regulace vnitřního osvětlení, možnost vnitřní cirkulace atmosféry, dostatek datových konektorů pro připojení různých čidél a samozřejmě monitoring vnitřních fyzikálních parametrů.

Všechny tyto vlastnosti byly následně zapracovány do konstrukčních plánů dvou typů komůrek. Jejich vlastnosti pak byly simulovány pomocí specializovaného softwaru (SolidWorks). Na základě výsledků simulace pak byly konstrukční plány upraveny.

V následující části textu jsou popsány vlastnosti a parametry dvou zkonstruovaných typů malých hyperbarických komůrek.

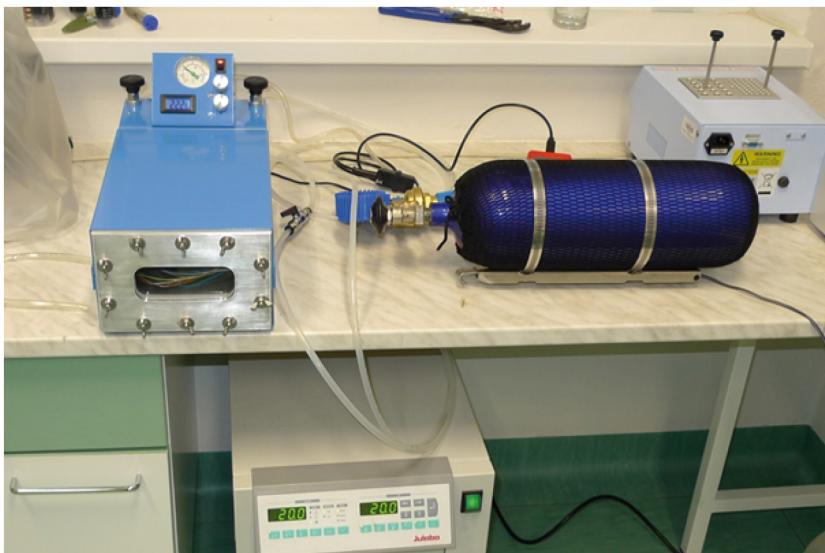
### **Mikrohyperbarická komůrka typ uHBK 1**

První typ hyperbarické komůrky má obdélníkový průřez, horizontální pracovní polohu a konstrukčním materiálem je hliníková slitina. Volba této slitiny má několik důvodů. Po vhodné chemické úpravě je odolná proti chemickým lítivům a výrazně snižuje hmotnost zařízení. Díky vhodné konstrukci umožňuje maximální provozní tlak 0,8 MPa. Tabulka 1. shrnuje důležité parametry této komůrky.

Tabulka 1 – provozní parametry uHBK1

<b>Maximální pracovní přetlak</b>	0,8 MPa
<b>Vnitřní rozměry (ŠxVxH)</b>	15 x 8 x 26 cm
<b>Vnější rozměry (ŠxVxH)</b>	20 x 21 x 43 cm
<b>Hmotnost</b>	9 kg
<b>Počet vstupů/výstupů</b>	1/1 regulovatelné + 1 přímý vstup/výstup
<b>Rozsah temperace</b>	+5 až + 60°C
<b>Měřené parametry</b>	1x teplota, 1x tlak

Na obrázku 2 je zobrazen funkční prototyp komůrky uHBK1.



Obr. 2. – ukázka funkčního prototypu uHBK 1

### Mikrohyperbarická komůrka typ uHBK 2

Po zkušenostech získaných při předešlé konstrukci byla navržena nová komůrka s větším objemem, kruhovým průřezem, vertikální pracovní polohou a pracovním přetlakem 1,5 MPa. Konstrukčním materiélem je nerezová ocel. Při konstrukci této komůrky se při tlakové zkoušce ukázalo, že na simulační SW nelze vždy spolehat, neboť v reálných testech došlo k její deformaci díky změnám v kvalitě materiálu, ke kterému došlo při obrábění. Konstrukce komůrky pak musela být upravena. Následné dynamické tlakové zkoušky nové konstrukce ukázaly spolehlivost komůrky při zachování uvedených parametrů. U této kruhové komůrky jsou vytvořeny průzory dva, z nichž jeden umožňuje využívat magnetického míchání roztoků uvnitř komůrky, aniž by míchačka byla umístěna uvnitř komůrky. Komůrka také umožňuje temperaci svého vnitřního prostředí, regulaci vnitřního osvětlení a aktivní cirkulaci plynů. Komůrka je vybavena řídící jednotkou, která je umístněna na čelním panelu, umožňuje nezávisle měřit 3 teploty, tlak a reguluje osvětlení a ventilaci v komoře. Je vybavena sedmpalcovým barevným dotykovým displejem umožňujícím pohodlné ovládání. Zároveň umožňuje logování

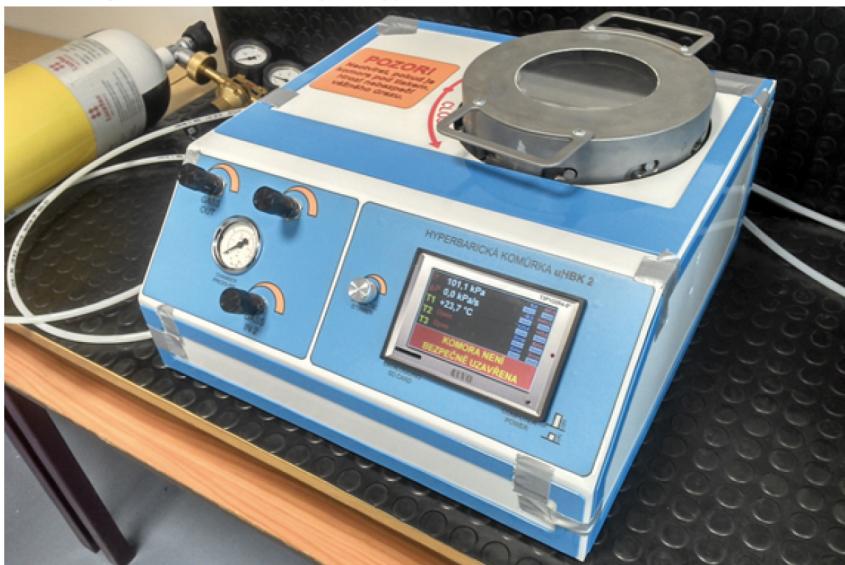
měřených veličin na SD a komunikaci s PC.

Konstrukce i parametry komůrky plně odpovídají původním požadavkům. Tabulka 2 shrnuje důležité parametry této komůrky.

Tabulka 2. – provozní parametry uHBK1

<b>Maximální pracovní přetlak</b>	1,5 MPa
<b>Vnitřní rozměry (ØxV)</b>	22 x 20 cm
<b>Vnější rozměry (ŠxVxH)</b>	50 x 25 x 50 cm
<b>Hmotnost</b>	24 kg
<b>Počet vstupů/výstupů</b>	2/1 regulační
<b>Rozsah temperace</b>	-5 až +70°C (při použití nemrznoucí kapaliny)
<b>Měřené parametry</b>	3x teplota (PT 100), 1x tlak (0 PaABS až 2,0 MPa)
<b>Další vlastnosti</b>	Datové propojení (8 vodičů), magnetické míchání, průzor

Na obrázku 3 je zobrazen funkční prototyp uHBK 2.



Obr. 3. – ukázka funkčního prototypu uHBK 2 připraveného na experimenty

## Výsledky

Výsledkem našeho vývoje jsou konstrukce dvou odlišných funkčních vzorků malých přetlakových komor. V současné době na těchto komůrkách probíhají základní studie využitelnosti pro buněčné a fyzikální experimenty různých charakterů. Tyto studie jsou zaměřeny na objasnění fyzikálně-chemických změn složení kultivačních roztoků (DMEM, HAM s F-12) a pufrů (PBS, HEPES, TBS) v důsledku jejich vystavení odlišným fyzikálním podmínkám hyperbarického prostředí (Bajgar et al. 2014). Jedná se především o změny pH, pO<sub>2</sub> a degradaci některých dalších složek, jejichž stabilita je v průběhu kultivace požadována (Dejmek et al. 2015). Dále probíhá testování parametrů a vlastností měřicích systémů vhodných pro sledování měřených veličin v náročném prostředí hyperbarické komory.

Probíhají také pilotní experimenty zaměřené na zjišťování možností ovlivňování vlastností vybraných buněčných typů v průběhu kultivace při vystavení zvýšeného či sníženého tlaku. V blízké budoucnosti je připravována sada experimentů, která má za cíl prozkoumání vlivu rychlosti změny tlaku (kompresi a dekompresi) na viabilitu ovlivňovaných buněčných kultur. Tato znalost a také výsledná metodika, vycházející z experimentů, je nezbytná pro minimalizaci ztrát a nežádoucího ovlivnění buněčných kultur následujících studií a pokusů.

## Závěr

Konstrukcí a experimenty ověřený koncept malých, jednoduchý a snadno ovladatelných přetlakových komor do objemu 10 l, umožňujících provádět prakticky a ekonomicky zvládnutelné experimenty typu *in vitro*, otevírá novou oblast základního a aplikovaného technického, biologického a hlavně medicínského výzkumu při zvýšeném tlaku.

Výsledky základních biochemických a biologických studií při zvýšeném tlaku, prováděných na představených prototypech mikro-hyperbarických komor na pracovištích LF UP v Olomouci a LF v Plzni, UK v současné době finišují a jejich dílčí výsledky budou prezentovány a diskutovány na kongresu ČSHLM.

Vývoj byl podpořen projekty „CZ.1.05/3.1.00/14.0307 - Nové technologie UP v biomedicíně“, CZ CZ.1.05/2.1.00/01.0030 „Biomedicina pro regionální rozvoj a lidské zdroje“, Programem rozvoje vědních oborů Karlovy Univerzity (projekt P36) a „Biomedicínské centrum Lékařské fakulty v Plzni“, reg. č. CZ.1.05/2.1.00/03.0076.

## Referenční seznam

Bajgar, R., Kolárová, H., Bolek, L., Binder, S., Pizova, K., & Hanáková, A. (2014). High Oxygen Partial Pressure Increases Photodynamic Effect on HeLa Cell Lines in the Presence of Chloraluminium Phthalocyanine. *Anticancer Research*, 34(8), 4095-9.

Bolek, L., Dejmek, J., Bajgar, R., Růžička, J., Beneš, J., Tománková, K., Bolek, M., & Kolářová, H. (2015). Miniaturní hyperbarické komůrky – výstup projektu Preseed. *XXXVIII. Dny lékařské biofyziky*, 45.

Dejmek, J., Babuška, V., Kubeš, Z. & Bolek, L. (2015). Základní studie využitelnosti mikrohyperbarické komůrky pro buněčné experimenty. *XXXVIII. Dny lékařské biofyziky*, 47.

Beneš J. <a href="#">25</a> , <a href="#">71</a>	Bolek L. <a href="#">25</a> , <a href="#">71</a>	Bajgar R. <a href="#">71</a>	Babuška V. <a href="#">71</a>	Bolek M. <a href="#">71</a>	<b>B</b>
Dejmek J. <a href="#">25</a> , <a href="#">71</a>	Došel P. <a href="#">55</a>				<b>D</b>
Emmerová M. <a href="#">21</a>					<b>E</b>
Hájek M. <a href="#">13</a> , <a href="#">29</a> , <a href="#">33</a>	Hajšmanová M. <a href="#">21</a>	Hrnčíř E. <a href="#">50</a>			<b>H</b>
Chvojka J. <a href="#">25</a>	Chmelař D. <a href="#">33</a>				<b>CH</b>
Kolářová H. <a href="#">71</a>	Klugarová J. <a href="#">61</a> , <a href="#">65</a>	Koudelka D. <a href="#">13</a>	Klugar M. <a href="#">61</a> , <a href="#">65</a>	Kneidlová M. <a href="#">50</a>	<b>K</b>
Malá A. <a href="#">21</a>	Maršálková J. <a href="#">33</a>	Marečková J. <a href="#">61</a> , <a href="#">65</a>			<b>M</b>
Novomeský F. <a href="#">13</a>	Neuwirthová I. <a href="#">33</a>				<b>N</b>
Oniščenko B. <a href="#">38</a>					<b>O</b>
Poklopová Z. <a href="#">21</a>	Pudil R. <a href="#">8</a> , <a href="#">43</a>				<b>P</b>
Rozložník M. <a href="#">13</a> , <a href="#">33</a> , <a href="#">47</a>	Růžička J. <a href="#">21</a> , <a href="#">25</a> , <a href="#">71</a>				<b>R</b>
Suchý D. <a href="#">20</a>	Svoboda J. <a href="#">29</a>	Svobodová K. <a href="#">29</a>			<b>S</b>
Tučková D. <a href="#">61</a> , <a href="#">65</a>	Tománková K. <a href="#">71</a>				<b>T</b>
Vitoušková A. <a href="#">29</a>					<b>V</b>
Zub D. <a href="#">29</a>					<b>Z</b>

# Věcný rejstřík

## Subject index

- A**
  - air brake 39
  - adaptace 43
  - adaptation 44
  - apnea 43, 44
  - barotrauma 13, 14, 15, 19, 35, 36, 39, 54
  - biophysics 72
  - biofyzika 71
  - carbon monoxide poisoning 25
  - cardiovascular system 8, 9, 43, 44
  - causes 9, 25, 33, 68
  - CNS 29, 31
- B**
  - cochrane 27, 62, 63
  - compensation 50, 51
  - CO poisoning 21
  - Cortico organ 33
  - critical appraisal 62, 63, 66, 68
  - decompression 14, 47, 48
  - diving 9, 13, 14, 43, 47, 48, 50, 51
  - diving decompression injury 14
  - diving emergency 47, 48
  - diving fatality 8
  - diving response 43, 44, 45
  - důkaz 25, 61, 65
  - EBM 61, 62
  - evidence 9, 33, 35, 36, 38, 41, 47, 61, 62, 63, 66, 68
- E**
  - exposition 21, 25, 38,
  - expozice 15, 21, 26, 27, 38, 40, 58
  - extreme diving 47
  - extrémní potápění 47
- F**
  - fyzioterapie 29
  - Gz acceleration 55, 56
  - Gz přetížení 55, 56
- G**
  - Hadravského ústenka 21, 22
  - Hadravský's mask 21
  - HBO 13, 14, 15, 16, 19, 25, 26, 27, 30, 34, 35, 36, 65, 66, 67, 68, 71, 72
  - HBOT 65, 66, 68
  - health disorders 50, 51
  - high altitude jump 55, 56
- H**
  - hyperbaric oxygen 14, 21, 25, 33
  - hyperbarická oxygenoterapie 13, 22, 29, 33, 34, 38, 47
  - hyperbaric oxygen therapy 29, 38, 65, 66, 67
  - hyperbaric oxygen treatment 14, 25, 47
  - hyperbarický kyslík 25
  - hyperbaroxie 21, 22, 23, 24
  - hyperbaroxy 21
  - indication 9, 21
- I**
  - indikace 11, 21, 30, 31, 39
  - intensive care 14, 48, 66
  - intenzivní péče 13, 65
- J**
  - JBI 62, 63, 67, 68
- K**
  - kardiovaskulární systém 8, 14, 43, 57
  - kraniotrauma 30, 31
  - kritické hodnocení 61, 65
  - komora 21, 22, 23, 24
  - kyslíková toxicita 38, 39
  - laboratorní experimenty 71
  - laboratory experiments 71, 72
  - léčba 16, 25, 26, 34, 35, 36, 39, 41
  - léčebná rehabilitace 29, 30
  - meta-analysis 62, 63, 68
  - meta-analýza 61
- M**
  - miniature hyperbaric chambre 71, 72
  - miniatiér hyperbarická komůrka 71
  - nehoda 14, 17, 47
  - normobaric oxygen 25, 48
  - normobarický kyslík 25
  - odškodňování 50, 51, 53
  - otrava 21, 25
  - otrava oxidem uhlennatým 21, 25
  - oxygen toxicity 38, 39
  - percepční porucha sluchu 31, 33, 34
  - physiotherapy 29, 33
  - potápěčská nehoda 47
  - potápěčské dekomprezní poranění 13
  - potápění 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 17, 50, 52, 53
  - protocol 25, 56, 61, 62, 63, 66
  - protokol 25, 27, 55, 59, 60, 61
  - příčiny 8, 11, 33
  - rehabilitation 29, 33
  - rotace 55, 56, 57, 58, 59
  - sluch 31, 33, 34, 35, 36, 39
  - S**
    - systematic review 62
    - systematické review 61
    - TBI 65, 66, 68
    - testing 71, 72
    - tlak 8, 9, 14, 17, 22, 27, 35, 39, 40, 44, 55, 57, 71
  - T**
    - trauma 13, 14, 15, 21, 23, 30, 35, 39, 65, 66
  - U**
    - úmrť při potápění 8, 9, 11
  - V**
    - výškové seskoky 55
    - vzduchová pauza 38
  - Z**
    - zdravotní poruchy 50

# XXI. KONGRES ČESKÉ SPOLEČNOSTI HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

se koná pod záštitou  
Královéhradeckého kraje

KRÁLOVÉHRADECKÝ  
KRAJ

## Partneři konference

*HAUX - LIFE - SUPPORT GmbH*

*PROORMEDENT s.r.o.*



## Mediální partner

*Nakladatelství GEUM*



## Tisk

*X-MEDIA s.r.o.*



## Grafická úprava

*Jiří Gruner*

## Poznámky



## HYPERBARICKÁ A POTÁPĚČSKÁ MEDICÍNA 2015

SBORNÍK Z XXI. KONGRESU ČESKÉ SPOLEČNOSTI HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

Editoři: Michal Hájek, Radek Pudil, Miloslav Klugar, Dittmar Chmelař

Sazba: Jiří Gruner

Příspěvky ve sborníku neprošly jazykovou korekturou a bylo respektováno formální zpracování příspěvků od autora.

Vydala: Lékařská fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě, Syllabova 19, Ostrava, 702 00, Česká republika, 2015

Vydání I.

Náklad: 200 ks

Tisk: X-media s.r.o., Ostrava

**ISBN: 978-80-7464-734-5**

## HYPERBARIC AND DIVING MEDICINE 2015

PROCEEDINGS OF XXI. CONGRESS OF THE CZECH SOCIETY OF HYPERBARIC AND AVIATION MEDICINE

Editors: Michal Hájek, Radek Pudil, Miloslav Klugar, Dittmar Chmelař

Design: Jiří Gruner

The contributions did not go through the language and grammar correction and the authors' formal rules were fully respected.

Issued by: Medical Faculty, University of Ostrava, Syllabova 19, Ostrava, 702 00, Czech Republic, 2015

Volume No. I.

Number of copies: 200 pcs

Print: X-media s.r.o., Ostrava

**ISBN: 978-80-7464-734-5**





## HYPERBARICKÁ A POTÁPĚČSKÁ MEDICÍNA 2015

SBORNÍK Z XXI. KONGRESU ČESKÉ SPOLEČNOSTI HYPERBARICKÉ A LETECKÉ MEDICÍNY

Editoři: Michal Hájek, Radek Pudil, Miloslav Klugar, Dittmar Chmelař

Sazba: Jiří Gruner

Příspěvky ve sborníku neprošly jazykovou korekturou a bylo respektováno formální zpracování příspěvků od autora.

Vydala: Lékařská fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě, Syllabova 19, Ostrava, 702 00, Česká republika, 2015

Vydání I.

Náklad: 200 ks

Tisk: X-media s.r.o., Ostrava

**ISBN: 978-80-7464-734-5**

## HYPERBARIC AND DIVING MEDICINE 2015

PROCEEDINGS OF XXI. CONGRESS OF THE CZECH SOCIETY OF HYPERBARIC AND AVIATION MEDICINE

Editors: Michal Hájek, Radek Pudil, Miloslav Klugar, Dittmar Chmelař

Design: Jiří Gruner

The contributions did not go through the language and grammar correction and the authors' formal rules were fully respected.

Issued by: Medical Faculty, University of Ostrava, Syllabova 19, Ostrava, 702 00, Czech Republic, 2015

Volume No. I.

Number of copies: 200 pcs

Print: X-media s.r.o., Ostrava

**ISBN: 978-80-7464-734-5**