

# Vliv prostředí na výkonnost - potápění



MUDr. Kateřina Kapounková, Ph.D.  
MUDr. Zdeněk Pospíšil

# Jak dlouho vydrží pod vodou:



- ▶ Vorvani a delfíni: 2 hod
- ▶ Velryby a tuleni: 18 min
- ▶ Bobr, kachna: 15 min
- ▶ Krysa, králík, kočka, pes: 2-4 min
- ▶ Člověk: ~1 min
  - ▶ Akvabely:  $\text{PaO}_2$  30-35 mmHg
  - ▶ Korejské lovkyně perel: 2 min (20-30 m, 20x za hodinu)
  - ▶ Free divers: 8 min. 6 sec. ( před potopením hyperventilují , což vede k tlumení dýchacího centra- pomůže při potápění se později nadechnout)



# Historie potápění

- ▶ Mušle nalezené při archeologických vykopávkách ukazují, že lidé se potápěli již před desítkami tisíc let.
- ▶ V 9. století o potápění psal Homér
- ▶ K potápění používány **potápěčské zvony**
  - první zmínka už 332 př. Kr. Alexandr Veliký sestupuje pod vodu v „sudu s okny“ a pozoruje své potápěče
- ▶ **POTÁPĚČSKÉ ZVONY** Potápěčský zvon je zespod otevřená nádoba naplněná vzduchem, zajištěná a zatížená proti převržení a zavěšená na laně či řetězu, který umožňuje pobyt a práci pod vodou. Ve své nejjednodušší podobě se jedná o nejstarší známé zařízení pro delší práci pod vodní hladinou.



- ▶ V polovině 18. století jsou používány **potápěčské obleky s přívodem vzduch** z ponořených nádrží v Great Yarmouthu v Anglii. Doktor Freminet předvádí ve Francouzské akademii roku 1772 potápěčský přístroj podobného typu. O dva roky později je s tímto oblekem uskutečněn v Le Havru 50-ti minutový sestup.
- ▶ další postup byl dostat se **pod vodu s vlastním plynem**. Potápěč si nese svoji zásobu dýchací směsi s sebou. Nezávislé potápěčské přístroje můžeme rozdělit do dvou skupin:
  - a) s uzavřeným dýchacím okruhem
  - b) s otevřeným dýchacím okruhem



► **Přístroje s uzavřeným dýchacím okruhem** se skládají:

- ze zásobníku dýchací směsi
- dýchacího vaku
- pohlcovacího zařízení na CO<sub>2</sub>
- dávkovače

Potápěč nadechuje dýchací směs z vaku a vdechuje přes pohlcovač znovu do vaku

V roce 1878 vyvinul Henry Fleuss (Angličan) přístroj s uzavřeným okruhem (1879 uskutečnil první ponor s nitroxem v Temži)

Vylepšený Fleussův přístroj byl během I. světové války používán v Royal Navy jako záchranný přístroj pro únik z ponorek.

► **V přístrojích s otevřeným okruhem** dýchá potápěč vzduch ze zásobníku. Vzduch vydechuje většinou přímo do vody. Vydýchaný vzduch není nijak regenerován.

Vývoj dýchacích přístrojů s otevřeným okruhem je pro sportovní potápěče nejdůležitější

- ▶ první účinný a bezpečný přístroj s otevřeným okruhem pro potápěče vyvinut v r 1943 – SCUBA ( J. Cousteau, E. Gagnon)
- ▶ Technické řešení tohoto zařízení prošlo četnými inovacemi, avšak jeho princip zůstal nedotčen



- ▶ Od té doby se věnuje potápění stále více osob – roste i počet úmrtí
  - v USA 3-9 úmrtí/ 100 000 potápěčů ročně, nejčastější příčina utonutí (60%), poškození plic

# Potápění v ČR

- ▶ První zmínku o potápění je od Tomáše z Klauzenburku (16. století).
- ▶ Zřejmě prvním (sportovním potápěním) u nás jsou sestupy studenta brněnské techniky Göntnera Nouackha do Šenkova syfonu v jeskyni Býčí skála ( 1912).
- ▶ Opravdový rozvoj sportovního potápění v ČR začíná až po II. světové válce.
- ▶ V roce 1954 – 1956 vznikají při ROH první kroužky sportovního potápění.
- ▶ V roce 1954 začínají vyrábět Chotěbořské strojírny n.p. potápěčské soupravy PL 40.
- ▶ V roce 1961 je na trh uvedena první československá automatika pro sportovní potápění ( Rekord AV 1 konstruktéra Slavíčka) Svazarm jako 46. řádný člen. Od
- ▶ roku 1969 vyrábí v Československu potápěčskou výstroj SPORTKLIMET, později AQUACENTRUM PRAHA

# Patofyziologie potápění – co může nastat

## Respirační problémy

**Nedostatek kyslíku:** jsou nejlépe patrný při postupném snižování jeho parciálního tlaku v dýchací směsi

- ▶ Parciální tlak O<sub>2</sub> ve vzduchu při normálním atmosférickém tlaku činí asi 21 kPa. Parciální tlak O<sub>2</sub> ve směsi nesmí poklesnout **pod 16 kPa**

pO <sub>2</sub>	příznaky
14 kPa	první příznaky (ospalost, neschopnost jasného úsudku, nepřesná koordinace pohybů, rozjaření)
12 kPa	pocit nepohodlí, rychlé dýchání
10 kPa	někteří jedinci ztrácejí vědomí
6 kPa	ztráta vědomí u všech osob. Pod touto úrovní může rychle nastat smrt



## Toxicita CO<sub>2</sub>

- ▶ Přebytek CO<sub>2</sub> ve tkáních (hyperkapnie), může při potápění nastat buď v důsledku zvýšené hladiny CO<sub>2</sub> v těle nebo v dýchací směsi
- ▶ Příčiny:
  - nedostatečná ventilace plic ( nejčastější příčina)
  - zvýšená tvorba CO<sub>2</sub> při práci (usilovné plavání apod.)
  - špatná funkce pohlcovače CO<sub>2</sub> u přístroje s uzavřeným nebo polouzavřeným okruhem
  - znečištění dýchací směsi CO<sub>2</sub>

Přebytek CO<sub>2</sub> má odlišný princip působení na centrální nervovou soustavu oproti hypoxii, ale může se projevit obdobnými příznaky (otupělost, neschopnost jasného myšlení, ztráta vědomí a celkové křeče – možné zaměnit s otravou kyslíkem)

## Hyperventilace

- ▶ Při hyperventilaci je výdej CO<sub>2</sub> z těla vyšší než jeho tvorba (celkové množství v těle se snižuje). Vidíme často 2 typy:
  - Emoční hyperventilace
  - Volní hyperventilace
- ▶ Fyziologickým důsledkem poklesu hladiny CO<sub>2</sub> je oslabení činnosti dechových center
- ▶ Při pomalejším poklesu hladiny CO<sub>2</sub> (nastává při emoční hyperventilaci) - zužují se mozkové cévy a klesá průtok krve mozkem (o 30% i více) - příznaky: točení hlavy, závratě, mravenčení, pálení či mrazení na kůži nebo v těle a může v krajním případě vyústit v bezvědomí

## Tuková pneumonie (TP)

TP může být způsobena tím, že potápěč vdechuje vzduch obsahující mikrokapénky oleje (používá se na mazání válců kompresoru)

olejové mikrokapénky prostupují do plic (zůstávají velmi dlouhou dobu)

# Opatření - pod vodou

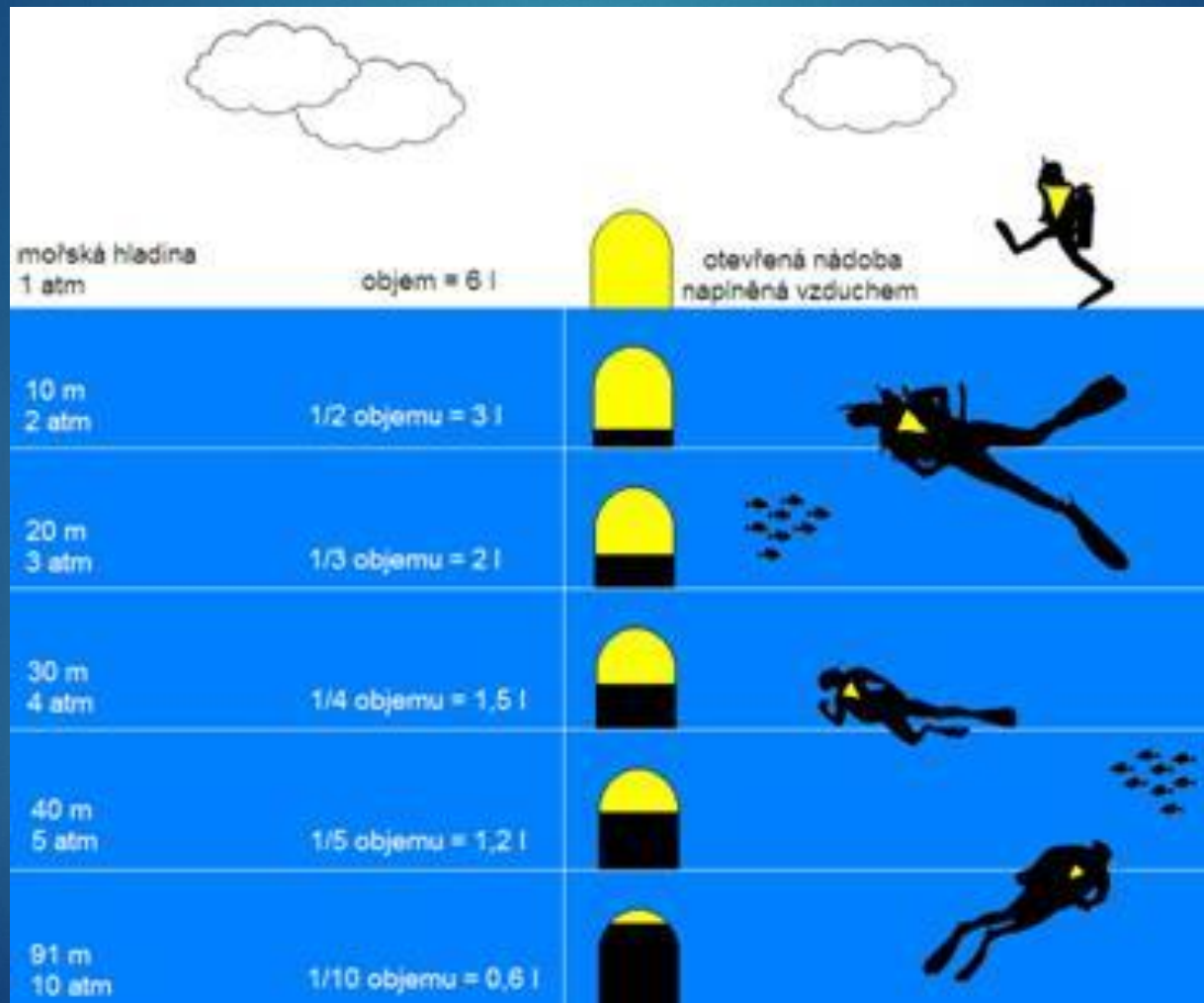
- ▶ **Tlak  $\uparrow$  o 1 atm na každých 10 m** – důležitá je hloubka potápění

- pozor na zvětšení mrtvého prostoru ( ztížené dýchání)
- tlak vody na hrudník – znemožněno dýchání

Tlak vytvářený mořskou vodou je přibližně o 3% vyšší

- ▶ **Aby plíce nekolabovaly**, musí vdechovaná směs přicházet pod  $\uparrow$  tlakem jako je tlak vody
- ▶ Při zvýšeném tlaku stoupá i pN<sub>2</sub>- dochází k rozpouštění v krvi více než při normálním tlaku ( v 60m asi 70x více)
  - je-li návrat pomalý – N<sub>2</sub> difunduje do alveolů – je vydechován
  - je-li návrat rychlý – bublinky N<sub>2</sub> ucpávají cévky ( plynová embolie)

# Ukázka jak se s hloubkou ponoru mění objem plic



- ▶ Tlak v každém vzduchem vyplněném prostoru těla ( dutině) musí sledovat změny okolního tlaku - jinak na stěně tohoto prostoru dojde tlakem k destrukci stěny
- ▶ Při potápění je potřeba zabezpečit, aby se tlak v těchto dutinách mohl plynule přizpůsobit vnějšímu tlaku vody. Potápěči do velkých hloubek používají speciální směsi, kde je doplněním inertního plynu (obvykle helia) parciální tlak kyslíku snížen)
- ▶ Aby plíce nekolabovaly, musí vdechovaná směs přicházet pod zvýšeným tlakem
- ▶ Zdravotní problémy spojené s potápěním mají různou závažnost
  - nejčastější je postižení uší a vedlejších dutin nosních ( barotrauma středouší)
  - méně časté, ale o to závažnější je dekompresní postižení vnitřního ucha

# Zdravotní problémy u potápění



# Dekompresní (Kesonová) nemoc

- ▶ při vynořování **tvorba bublinek** v krvi a tkáních supersaturovaných plynem rozpuštěným během expozice ↑ tlaku ( analogie s otevřením šampusu)
- ▶ **povrch bublinek je thrombogenní** -> vznik komplexů bublinky-proteiny-destičky
- ▶ problémy, až po delší expozici ( několik hodin), když to plicní cirkulace nestačí odfiltrovat

## Projevy :

bolesti svalů, kloubů; až i paralýza, kolaps, bezvědomí; dyspnoe (často předchází vážnější problémy), plicní edém, embolie

# Dekompresní nemoc

- ▶ Až po delší expozici
  - ▶ dusíku to trvá dlouho, než saturuje tělesné tekutiny (špatná rozpustnost)
  - ▶ zejména málo vaskularizovaný tuk ( $N_2$  se v něm rozpouští nejvíc)
- ▶ Pohyb to zhoršuje
- ▶ He se hůř rozpouští než  $N_2$



# Dekompresní nemoc

- ▶ Léčba:
  - ▶ Rekomprese a pomalá dekomprese v hyperbarické komoře
  - ▶ Lze zrychlit hyperbarickým  $O_2$ 
    - ▶ nedodává se žádný další  $N_2$
    - ▶  $\uparrow$  difuze  $O_2$  do ucpaných oblastí
- ▶ Prevence
  - ▶ pomalé vynořování
  - ▶ dny/týdny v přetlakové nádrži



# Barotrauma

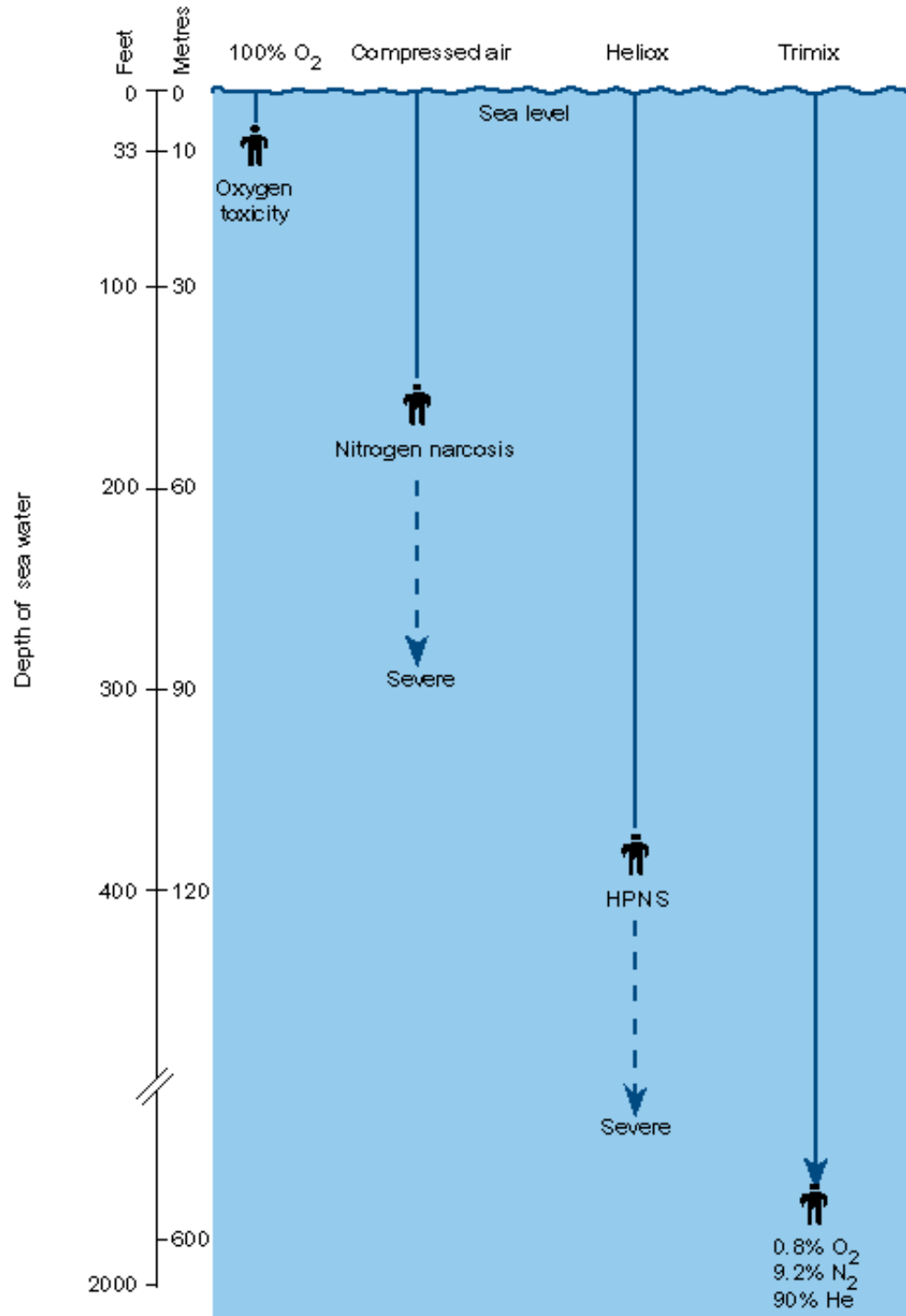
= patologické změny vznikající přetlakem plynů v tělních dutinách

- ▶ nosní dutiny
- ▶ zubní kazy
- ▶ střední ucho (při ucpání Eustachovy trubice)
- ▶ střevní plyny
- ▶ alveoly (pokud se při vynořování nevydechuje)

# Vysokotlakový nervový syndrom (HPNS)

- ▶ Dostavuje se pod 130 m ponoru
- ▶ Hyperexcitace nervů zvýšeným tlakem
  - ▶ třes rukou
  - ▶ nausea, závratě
- ▶ Horší při rychlejším ponořování
- ▶ Omezují to tlumivé účinky N<sub>2</sub> (“Trimix”)

# Hloubka potopení s různými plyny



# Sportovní potápění

**Konstantní zátěž** : potopení vlastními silami ( 100m, 124-ploutve)

**Volný ponor** ( ručkování): 120 m

**Variabilní zátěž** ( zátěž s odhozením, nahoru po laně) 142m

**Bez omezení**: ( zátěž, nahoru vztlakové zařízení) :214 m

Rekord v **potápění s dýchacím přístrojem**: 318 m ( 12 hod)