

# Překvapení v hloubkách

**XXI. Kongres ČSARIM  
(2014)  
Olomouc**



**MUDr. Jaromír Cheníček  
(Nemocnice Tábor)**

# Překvapení v hloubkách

## Historie potápění

### Potápění se zásobníkem vzduchu

900 let př.n.l. – hliněná destička s obrazem plavce s vakem na zádech  
Aristoteles – „*Problemata*“ popisuje potápěče dýchajícího pod vodou ze vzduchem naplněné nádrže

### Potápění na nádech – freediving

Cca 4500 let př.n.l. – archeologické nálezy mušlí, perel  
Starověké Řecko – získávání mořských hub ( využití mj.i ve zdravotnictví

(4-6 hod. denně, až z 30 m hloubky, scandalonpetra, ostrovy Kálymnost, Symé, Chalki)

Japonsko, Korea – Potápěčky „*Ama*“ sběr perlorodek, mušlí, krabů)

# Překvapení v hloubkách

## Historie novodobého freedivingu

*r.1913 – Chatzistathis (sběrač mořských hub)*

Karpathos zátoka Picadia –Regina Margherita - hloubka 79 m/3 min.

*r.1949 – Raimondo Bucher (oficiální „otec zakladatel „sportu –freedivingu)*

Neapolský záliv - 1 nádech /29 m

*r.1951 – Ennio Falco, Alberto Novelli - Neapolský záliv – 35 m*

*r.1956 – Ennio Falco, Alberto Novelli – Rapallo – 41 m*

*r.1960 – Americo Santarelli – Rio de Janeiro - 43 m, mys Circeo 44 m*

*r.1961 – Enzo Maiorca – mílník 50 m. (v rozporu s tehdejší lékařskou teorií)*

*r.1965 – Teteke Williams, Robert Croft, Jaques Mayol*

*r.1976 – Jaques Mayol 100 m.*

*r. 1983 - -“- 105 m*

*80. léta – Umberto Pellizari , Francisco Rodriguez „Pipin“*

*r. 2000 – Pipin 160 m.*

*Současnost – apnoe 11:35 min., vzdálenost 280 m, hloubka 214 m*

# Překvapení v hloubkách

## Potápění na nádech

### potápění na nádech do malých hloubek (šnorchlování )

(i bez vybavení)

Amatéri.

Hloubka ponorů 5 – 10 m; apnoe v trvání cca 1 minuty

Hlavní problém: equalizace

### • potápění na nádech do středních hloubek (spearfishing)

(vybavení nutné – maska, šnorchl, ploutve aj.)

Trénování potápěči.

Hloubka ponorů 20 – 40 m; apnoe v trvání do 2 minut

Hlavní problém: equalizace na hodnotu RV (reziduálního objemu),

warning sign's

### • potápění na nádech do velkých hloubek (freediving)

Trénování sportovci-jedinci, adaptovaní na tuto zátěž

Ponory s hloubkou  $i > 100$  m; apnoe v trvání 5 minut

Hlavní problém: warning sign's- varovné známky

(CBSGONE)

Organismus těchto potápěčů dalece přesahuje známé fyziologické hranice/meze tolerance

# Překvapení v hloubkách

## Disciplíny

### Bazénové:

- statická apnoe (STA)...Rekord: m/11 min.35 sec. ž/9 min.02 sec.
- dynamická (DYN)
- s ploutví (DYN).....Rekord: m/281 m ž/234 m
- bez ploutve (DNF).....Rekord: m/225 m ž/182 m

### Hloubkové :

- konstantní zátěž (CWT).....Rekord: m/128 m ž/101 m
- k.z. bez ploutví (CNF).....Rekord : m/101m ž/70 m
- free immersion (FIM).....Rekord: m/121 m ž/91 m
- variabilní váha (VWT).....Rekord: m/145 m ž/127 m
- NO limits (NLT).....Rekord: m/214 m ž/160 m

# Překvapení v hloubkách

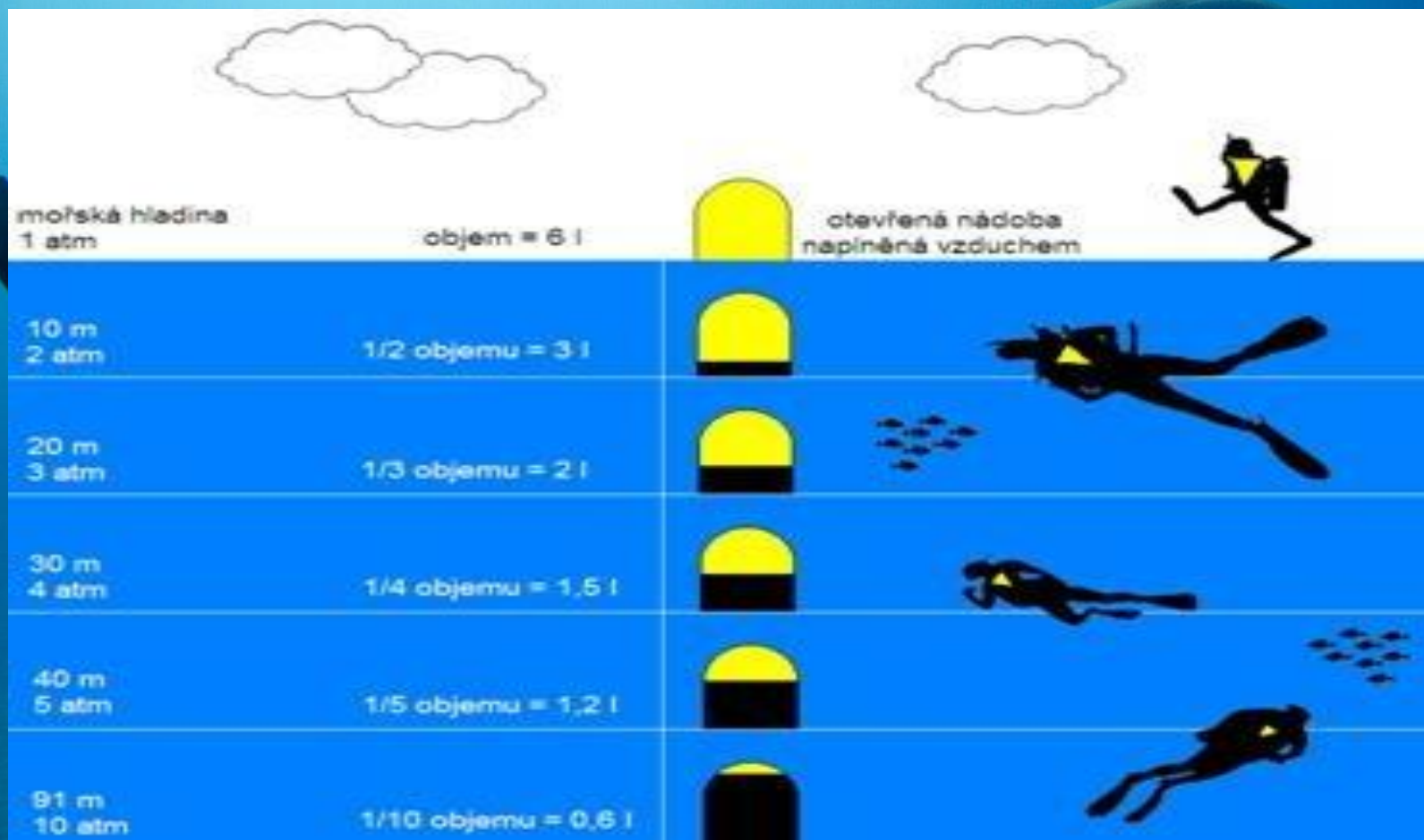
## Fyzikální zákony

Archimédův zákon

Daltonův zákon: parciální tlak plynů (pro vzduch:  $p_{O_2} + p_{CO_2} + p_{N_2}$ )

Henryho zákon: rozpustnost plynů v kapalině

**Boyle-Mariotteův zákon:  $P \times V = K$**



# Překvapení v hloubkách

## Aspekty nádechového potápění

### 4 základní principy

#### 1) dýchání

Předponorové respirační manévry

- relaxované dýchání,
- pakování plic,
- voluntární apnoe
- hyperventilace !

#### 2) kompenzace tlakových změn

- změny cirkulační - reflexivní (blood shunt, vazokonstrikce, redistribuce)
- změny plicní
- equalizace

#### 3) psychologie

- freediving **není/nesmí** adrenalinový sport
- calming, relaxační cviky, jóga

#### 4) zvládnutí pohybu

- hydrodynamická pozice těla
- pohybová koordinace

**Cíl: maximální snížení spotřeby kyslíku a produkce kysl. uhličitého**



# Překvapení v hloubkách

**Voluntární apnoe** = doba, po kterou je freediver schopen zadržet svůj dech

závisí na 3 faktorech:

- **adaptace** organismu na změny parciálních tlaků
- **rychlost metabolických dějů** v organismu během apnoe
- **psychická odolnost** a připravenost čelit zejména hyperkapnii doprovázené nucením k nádechu

## 4 fáze apnoe

První fáze – **iniciální**: uzavření DC; nitrohruční tlak se nemění

Druhá fáze – podle míry adaptace – first „break point“ fyziol.+psych. změny

Třetí fáze – „boj o nádech“ - hypoxie v kombinaci s hyperkapnií – involuntární kontrakce dých. svalů;

nitrohruční tlak klesá;

stav ovlivnitelný dlouhodobým tréninkem a adaptací na hypoxii a hyperkapnii.

Čtvrtá fáze – **terminal break point** – involuntární následovaný otevřením dých.cest a terminálním nádechem



# Překvapení v hloubkách

## Plicní objemy

### Statické plicní objemy

**V<sub>t</sub>** (dechový objem)

**IRV** (inspirační rezervní objem)

**ERV** (expirační rezervní objem)

**RV** (reziduální objem)

### Statické plicní kapacity

**VC** (vitální kapacita)

**IC** (inspirační kapacita)

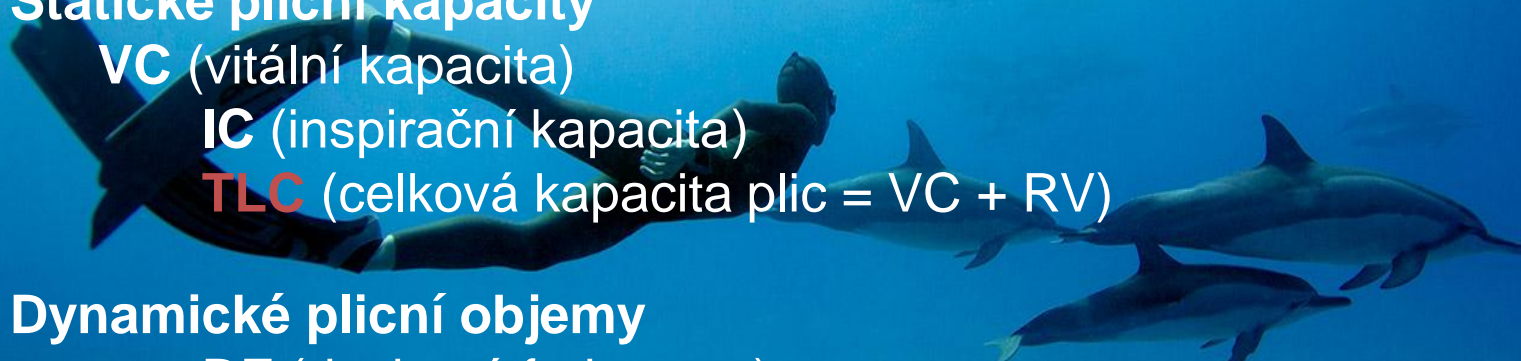
**TLC** (celková kapacita plic = VC + RV)

### Dynamické plicní objemy

**DF** (dechová frekvence)

**MV** (minutová plicní ventilace = DF x V<sub>t</sub>)

**FEV<sub>1</sub>** (jednosekundový úsilovný výdech)



# Překvapení v hloubkách

## Problematika O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

### Délka apnoe závisí na

- kapacitě organismu uchovávat O<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>
- na množství těchto plynů v těle na začátku ponoření
- na metabolismu

$$VO_2 = DO_2 \times O_2ER$$

- VO<sub>2</sub> - oxygen consumption = spotřeba kyslíku v ml/kg/min.

(cca 2,4 ml O<sub>2</sub>/kg/min.)

$$DO_2 = CO \times CaO_2$$

- DO<sub>2</sub> - oxygen delivery = dodávka kyslíku/ml /kg/min  
(cca 12 ml O<sub>2</sub>/kg/min.)

CaO<sub>2</sub> = Hb x SaO<sub>2</sub> x 1,39 = obsah kyslíku v arteriální krvi

O<sub>2</sub>ER – oxygen extraction ratio = extrakce kyslíku v % poměru DO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>

**Př.** tělo o hm. 70 kg s VC 5,5 l má k dispozici cca 2000 ml O<sub>2</sub>

- 820 ml v plicích
- 880 ml v krvi vázaných na hemoglobin
- 240 ml vázaných na myoglobin
- cca 60 ml fyzikálně rozpuštěno v krvi a ve tkáních

# Překvapení v hloubkách

## Co se děje během ponoření

- akvatický potenciál
- diving reflex
- anatomické a fyziologické změny



# Překvapení v hloubkách

## Akvatický potenciál

= schopnost přizpůsobení se vodnímu prostředí

Vodní savci (např. delfíni, tuleni, velryby)

apnoe i >1 hod.,

Hloubky i několik 1000 m

## Rozdíly – vodní savci v. x člověk

-Poměr plíce:tělo mají větší člověk

-Alveoly jsou vybaveny duplikovanou kapilární sítí

-Plíce jsou chráněny flexibilním hrudním košem

-Srdce a koronární cévy jsou dimenzovány na větší zatížení tlakem

-Blood shift



# Překvapení v hloubkách

## Potápěcí reflex (diving response)

- jedná se o přirozený adaptační mechanismus organismu (CNS, kardiovaskulární systém) na podráždění receptorů v kůži obličeje (střední část čela a okolí kořene nosu) při jeho zanoření a na apnoii; Následuje automatické „přenasazení“ anatomických poměrů a fyziologických funkcí

- aktivace parasymptatiku: bradykardie
- aktivace sympatiku:
- vazokonstrikce v periferním krevním řečišti
- nárůst krevního tlaku se zpomalením srdeční frekvence
- redistribuce krve s centralizací oběhu (blood shunt, blood shift fenomén, plasma fill fenomén)

## Důsledek:

- při samotné apnoii dochází ke zpomalení srdeční frekvence o cca 10% a ve spojení s ponořením obličeje do vody - další zpomalení o cca 20%
- u špičkových freediverů dochází v závislosti na hloubce ponoru k **extrémní bradykardii**, dosahující nezřídka hodnot pod 10 tepů/min

# Překvapení v hloubkách

## Objemové změny plic

**Atmosférický tlak** – na hladině moře = 1 ATA  
každých 10 m = nárůst o 1 ATA

**Důsledek:** tlak na hrudní koš a na bránici vede ke zmenšení objemu plic (pokles zejména vitální kapacity)

př. potápěč s TLC 6 l:

**Hloubka 4,5 m** - k poklesu nitrohruďního tlaku nedochází v důsledku reflexu označovaného jako „blood shunt“ (cca 600 ml krve)

**hloubka 30 m:** 4 ATA: TLC 1,5 l = RV

**hloubka 100 m:** 11 ATA: TLC 0,6 l

**hloubka No limits 250 m:** 26 ATA: TLC 0,23 l

**Důsledky:** - hrudní stlačení (pulmotracheální squeezing)  
- kapilární plicní erekce s přetížením stěny plicních kapilár



# Překvapení v hloubkách

## Hypoxie

pO<sub>2</sub>

příznaky hypoxie

14 kPa	První příznaky (ospalost, poruchy koordinace pohybů, euforie)
12 kPa	Pocit dyskomfortu
9 kPa	Near blackout - LMC
5 kPa a níže	Ztráta vědomí u všech osob-“Blackout“

-Loss of motor control (LMC): „Samba“

v organismu je ještě dostatek kyslíku k udržení vědomí, ale nedostatek kyslíku k zachování motorické kontroly (nemá jak z krátkodobého, tak i dlouhodobého hlediska zdravotního stavu žádné následky); stav označovaný také jako „Near Blackout“.

-Loss of consciousness: „Blackout“

v této situaci freediver není schopen udržet uzavřené dýchací cesty a ochránit je před vdechnutím vody.

K tomu dochází při poklesu pO<sub>2</sub> v plicích < 5 kPa

But: *genius loci* – hydrostatický tlak – pO<sub>2</sub> ve 100 m hloubce 11x vyšší = 165 kPa

„PEEP“ efekt

# Překvapení v hloubkách

## Hyperkapnie

Nadbytek CO<sub>2</sub> ve tkáních (potápěče)

PCO<sub>2</sub>

Příznaky hyperkapnie

Do 2 kPa	Bez dyskomfortu
Nad 2 kPa	Mírná hyperventilace; pod vodou začátek vnímání dyskomfortu
Nad 5 kPa	Dyskomfort zřejmý a nepříjemný
Do 10 kPa	Progresivní intenzita dyskomfortu, začátek ovlivnění CNS (ztráta koncentrace, letargie, zvýšení srdeční frekvence...)
Nad 10 kPa	Výrazné účinky na CNS, alterace vědomí, případně bezvědomí
>20 kPa	Konvulze, near blackout, blackout

-V důsledku zanoření se zvyšuje pCO<sub>2</sub> v plicích a při dosažení vyšších hodnot jak v krvi dochází k obrácenému „toku“ CO<sub>2</sub> s následným nucením k nádechu.

-Obsah CO<sub>2</sub> v těle je ve srovnání s obsahem O<sub>2</sub> mnohonásobně vyšší:cca 140 litrů

- vázaný CO<sub>2</sub> v kostech cca 123 litrů/obměna velmi pomalá
- svalstvo 9,5 litrů
- krev 6,5 litru

Depo CO<sub>2</sub> – svaly, vnitřní orgány – pojmu až 2x více než nepotápěči

Tento CO<sub>2</sub> se neuvolňuje do krve a nezvyšuje potřebu se nadechnout



# Překvapení v hloubkách

## Co se děje během ponoření

**V závislosti na době trvání apnoe je pro další děje v těle freedivera rozhodující především hladina CO<sub>2</sub>**

1. fáze – neurčité nepříjemné pocity
2. fáze – mimovolní kontrakce bránice
3. fáze – blood shift (doprovázen paresteziemi v končetinách, ale např.i euforií)
4. fáze – LMC bezprostředně (trvání 2-5 sec.) následující
5. fáze – blackout – bezvědomí, nadále uzavřené dýchací cesty (trvání 5-10 sec...safety protocol ... „comeback“)
6. fáze – terminal gasp
7. smrt



# Překvapení v hloubkách

## Zdravotní rizika

***Potápění na nádech do velkých hloubek vyžaduje komplexní dlouhodobou komplexní (teoretickou i praktickou) přípravu pod odborným vedením a velmi dobrou orientaci v problematice nádechového potápění.***

### Barotraumata při sestupu

- Barotrauma plic z podtlaku (pulmotracheální squeeze)
- Plicní edém
- Barotrauma sluchového ústrojí
- Barotrauma paranasálních dutin
- Barotrauma očí, tváří, n. facialis (mask squeeze)hypertenze

### Barotraumata při výstupu

- Barotrauma plic z přetlaku
  - Emfyzém
  - Pneumothorax
  - Vzduchová embolie
- Barotrauma zažívacího ústrojí (žaludek, střeva, zuby)

# Překvapení v hloubkách

## Zdravotní rizika

### Problematika dusíku – není „main topic“ nádechového potápění

- Dekompresní choroba
- Dusíková narkóza – „hloubkové opojení“ (parestézie, poruchy zraku, závratě, zmatenost, halucinace)
- Syndrom Tarawana – nárůst parc. tlaků (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) při opakovaných (desítky) ponorech (od 10-40 m) s nedodržením intervalů na zotavení.

### Tonutí

- Primární (suché) tonutí cca 15% případů - laryngospasmus.
- Sekundární tonutí

# Překvapení v hloubkách

**Teorie versus praxe – aneb kde jsou limity?**

**(Motto: „Šedivá je všechna teorie a věčně zelený je strom života“)**

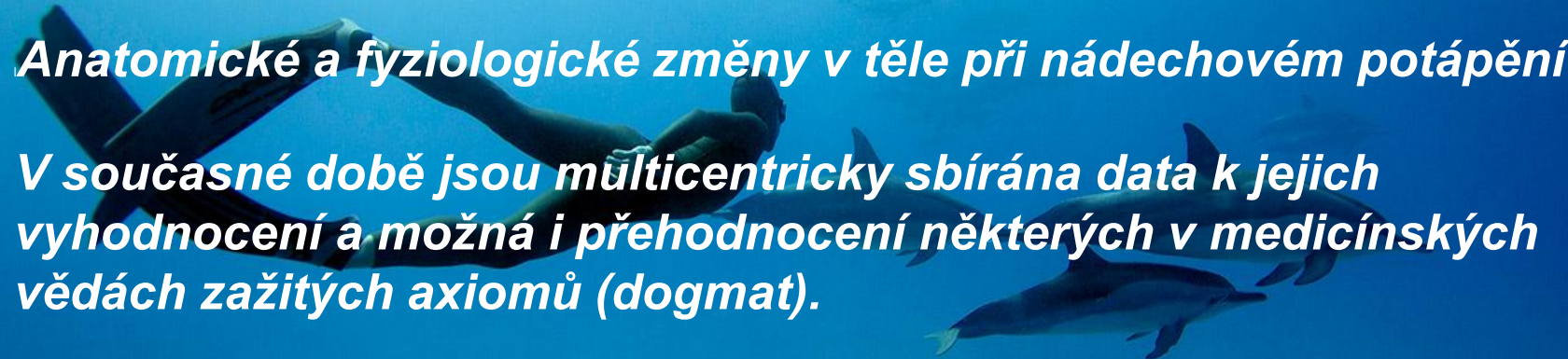
***Hypoxie***

***Volní apnoe***

***Hyperkapnie***

***Anatomické a fyziologické změny v těle při nádechovém potápění***

***V současné době jsou multicentricky sbírána data k jejich vyhodnocení a možná i přehodnocení některých v medicínských vědách zažitých axiomů (dogmat).***



# Překvapení v hloubkách

## Závěr

Nádechové potápění se stalo velmi populární volnočasovou aktivitou, ale i sportovní disciplínou, umožňující nahlédnout a poznávat nejen svět ticha, ale také vlastní tělo a respektovat obojí.

*Děkuji za pozornost*

