

---

# Monitorace mozkové oxygenace v neurointenzivní péči

**Roman Gál**

**Klinika anesteziologie,  
resuscitace a intenzivní  
medicíny**

**FN Brno - Bohunice**



# Multimodální monitorace

---

## Obecně tři oblasti

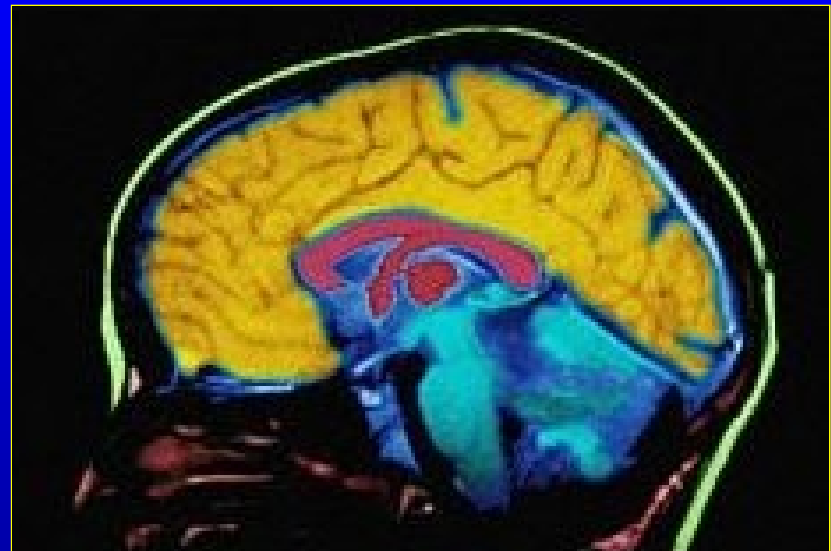
- monitorování průtoku krve mozem (CBF)
- mozkové oxygenace (PtiO<sub>2</sub>)
- mozkového metabolismu

# Patofyziologie - primární poranění

---

KCP, SAK...

následná neurointenzivní péče zaměřena na  
minimalizaci další progresse poškození  
sekundárního poranění



# Sekundární poranění mozku - ischemie

---

## ↓ CBF

- neuronální dysfunkce
- strukturální poškození neuronů

– celková

– fokální

- různá příčina
- patofyziologie
- lokalizace

edém mozku



# Ischemická kaskáda

---

**energetický kolaps**

**poškození membrán**

**presynaptické uvolnění neurotransmiterů**

- **excitatorní aminokyseliny (glutamát)**
- **influx Na a Ca do buňky**
- **aktivace fosfolipázy - hydrolýza membrán**
- **poškození cytoskeletárních struktur**
- **uvolnění mastných kyselin - volné radikály**

**smrt buňky**

**apoptóza**

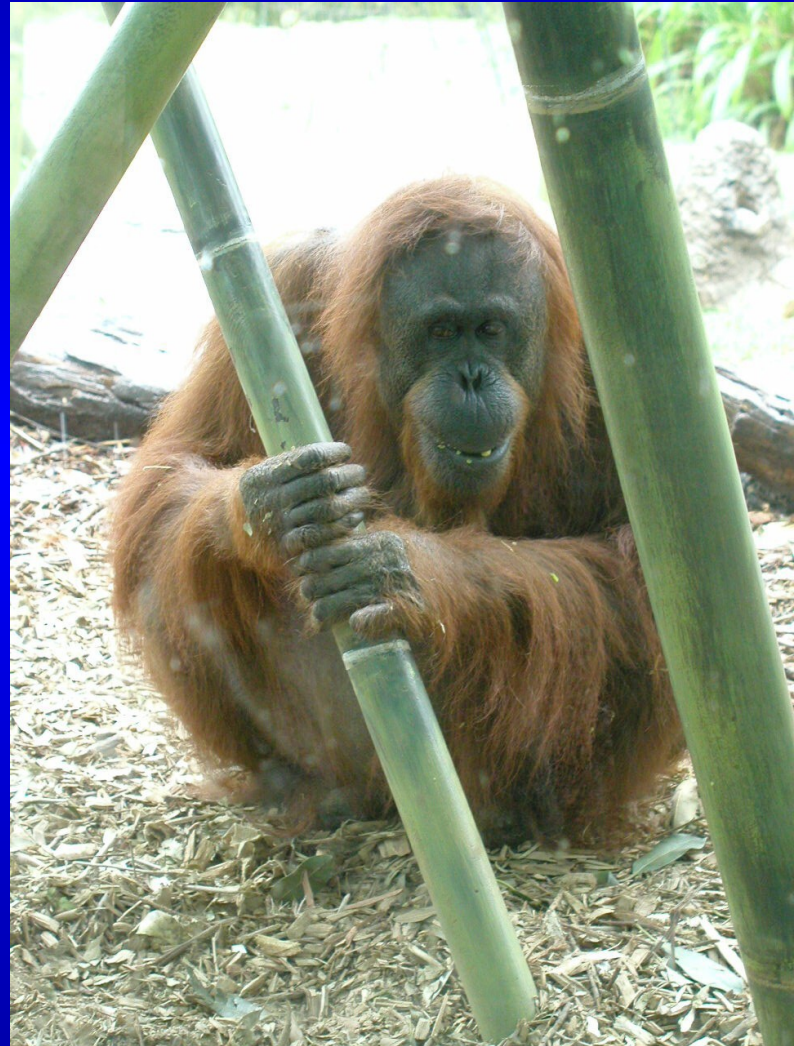
# Průtok krve mozkem - CBF

mozek zaujímá asi 2%  
celkové tělesné hmotnosti

15-20% srdečního výdeje  
CBF 50ml/100g/min

ischemický práh  
–20ml/100g/min

irreverzibilní změny  
–8ml/100g/min



# Multimodální monitorace

- ICP
- CPP
- SvjO<sub>2</sub> – globální stav
- p<sub>ti</sub>O<sub>2</sub> – lokální stav mozkové tkáně



# Jugulární oxymetrie – SvjO<sub>2</sub>

---

Měří saturaci kyslíkem ve venózní krvi odtékající z mozku jako indikátor extrakce kyslíku mozkovou tkání





# Fickova rovnice

---

$$\text{CMRO}_2 = \text{DajO}_2 \times \text{CBF}$$

$$\text{SvjO}_2 \dots \text{CBF} / \text{CMRO}_2$$

norma

$\text{SvjO}_2 \dots 55 - 75\%$

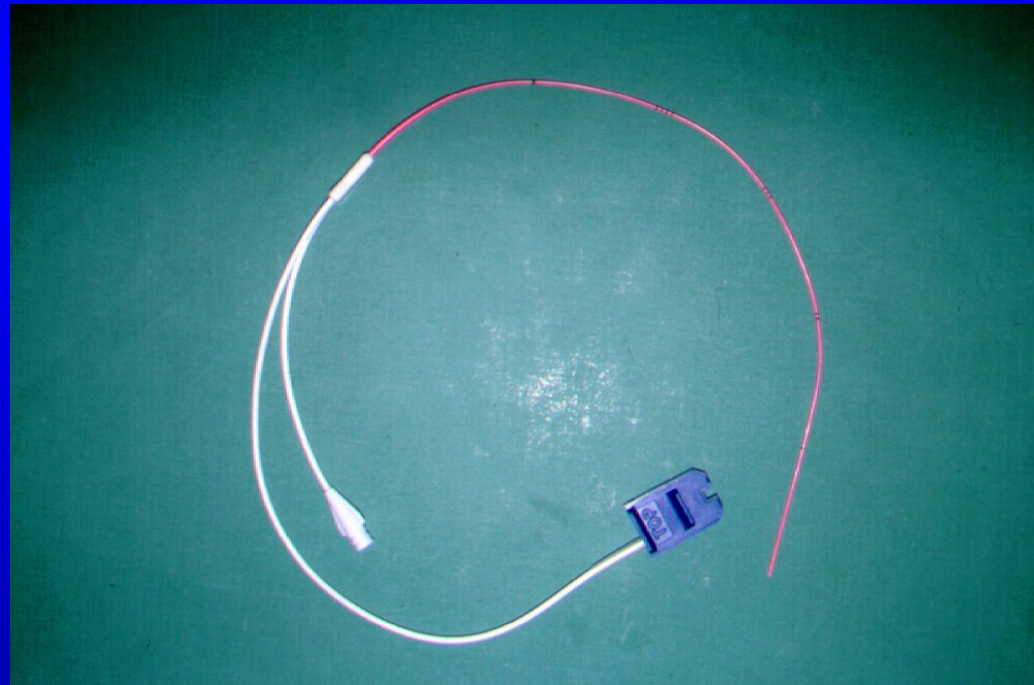
- **ischémie**                       $\text{SvjO}_2 \dots < 55\%$
- **hyperémie**                     $\text{SvjO}_2 \dots > 75\%$

obě hodnoty jsou spojeny s vyšší mortalitou a horším neurologickým výsledkem léčby u pacientů s těžkým KCP

# Kanylace jugulárního bulbu

---

- katétr s fibrooptickým vláknem
  - 4F, fy Edwards Lifesciences



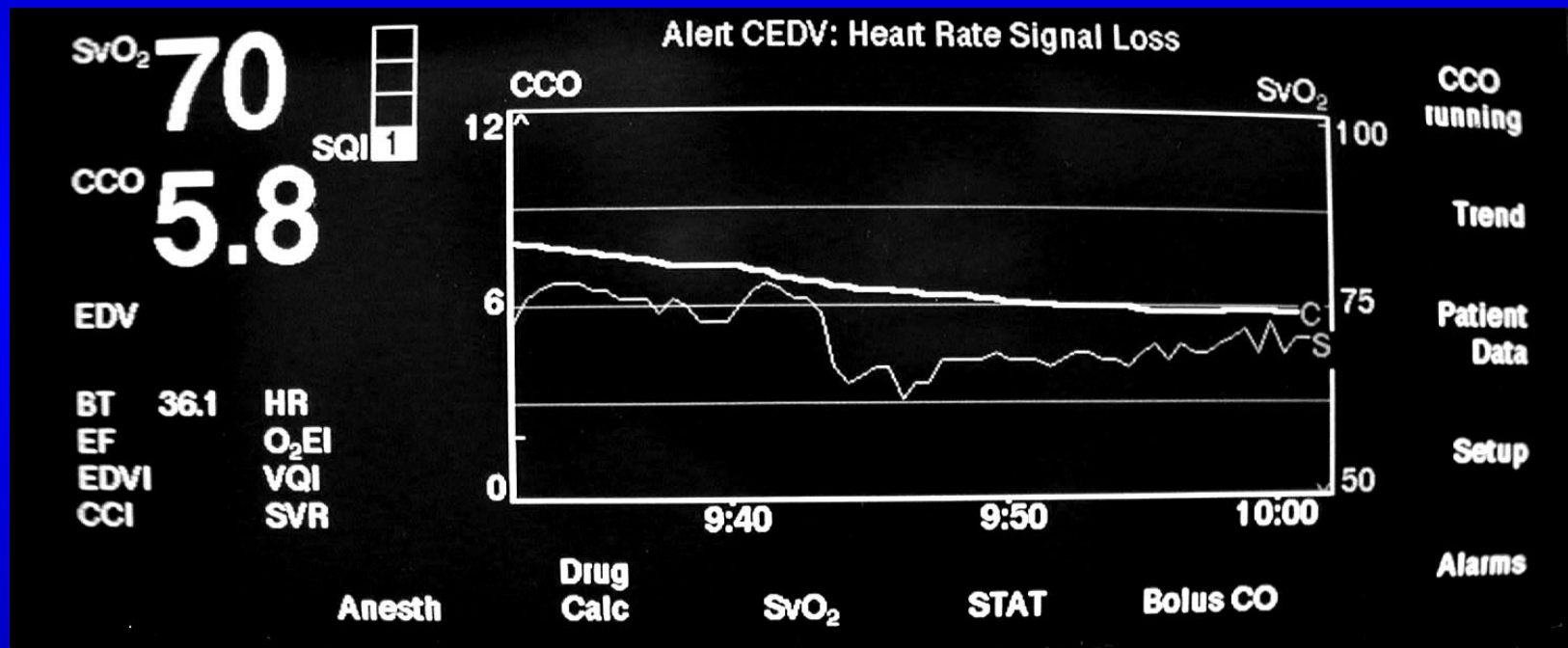
# Kanylace jugulárního bulbu

- pravostranná jugulární vena
- úroveň C1/2

Boční RTG hlavy  
s katétrem in situ



# Monitorace SvjO<sub>2</sub>



# Jugulární oxymetrie – SvjO<sub>2</sub>

---

- informace o globální situaci v mozku a nemusí zohledňovat situaci v patologických ložiscích
- časté problémy technického rázu
- nelze odlišit ani stranové rozdíly mezi hemisférami

**potřeba monitorace lokální situace mozkové tkáně**

# Technický princip měření $P_{ti}O_2$

---

Dva typy senzorů

– **System Licox**

polarografická Clarkova elektroda

roztok kaliumchloridu + katoda+ anoda (stříbrné vlákno)

- kyslík proniká do roztoku a reakcí s anodou uvolňuje elektrony
- úroveň elektrického proudu koresponduje s koncentrací kyslíku

# Licox

---







# Technický princip měření $P_{ti}O_2$

---

## Senzor Neurotrend

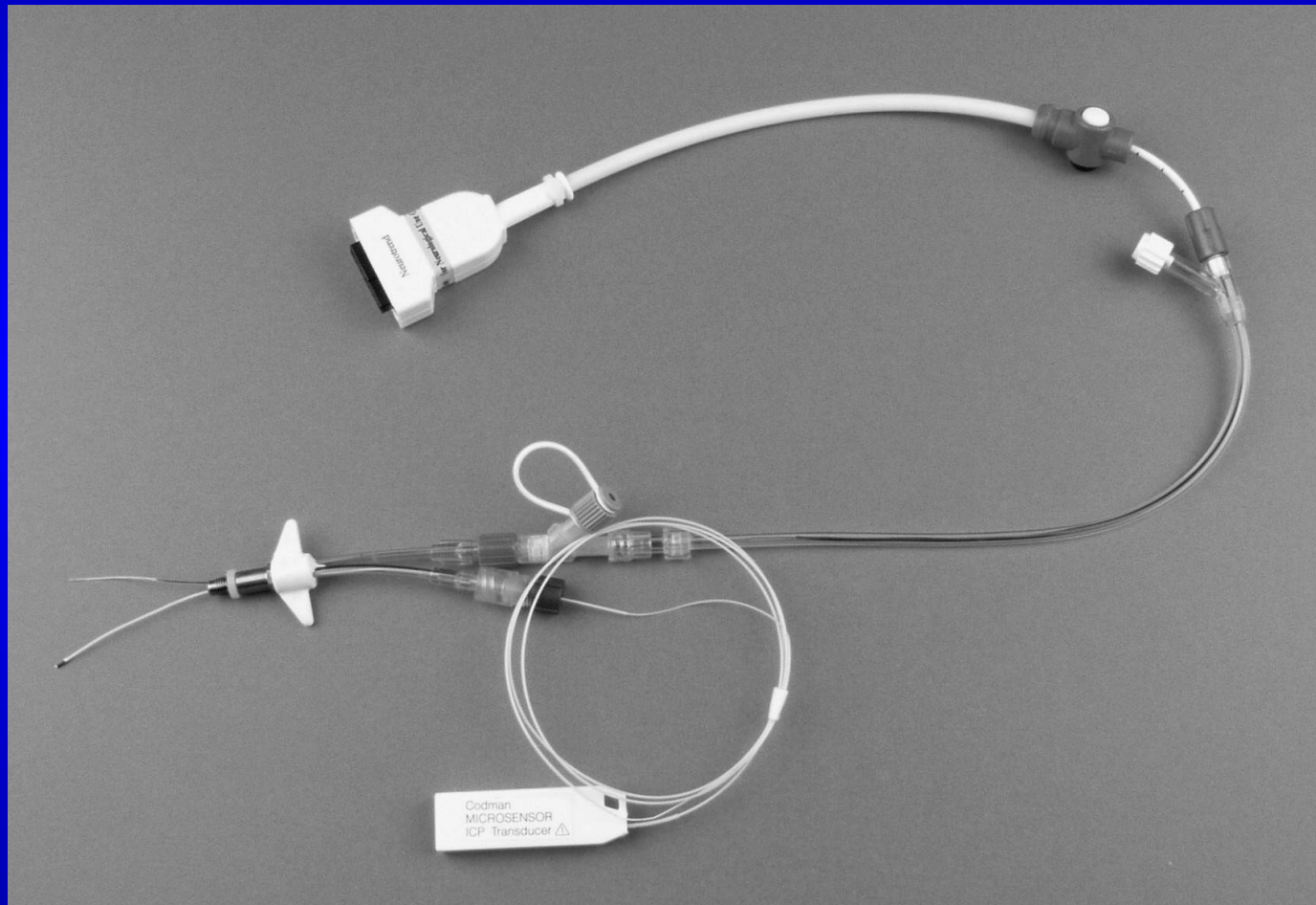
fibrooptické vlákno  
spektrofotometrie

oba systémy

- měří lokální teplotu mozku
- umožňují současnou aplikaci ICP čidla do jednoho trepanačního otvoru

# Neurotrend

---



# Interpretace naměřených hodnot

---

## Co měříme?

$pO_2$  – hodnoty parciálního tlaku ve tkáni

nejasný vztah mezi intra a extrabuněčnou hodnotou

– dále mezi hodnotou  $pO_2$  na venózním a arteriálním konci kapiláry

Předpokládá se, že měřené hodnoty jsou adekvátní  $pO_2$  na konci kapiláry

$pO_2$  je indikátorem poměru mezi dodávkou kyslíku a metabolismem

# Normální hodnoty $P_{ti}O_2$

---

**20- 45 mmHg**

**ischemický práh 19-23 mmHg**

- měřeno čidlem Paratrend

měření čidlem Licox vykazuje hodnoty až o  
10mmHg nižší

**- ischemický práh 5-10 mmHg**

(Valadka)

Obecně – **nízká hodnota koresponduje s hypoxií**

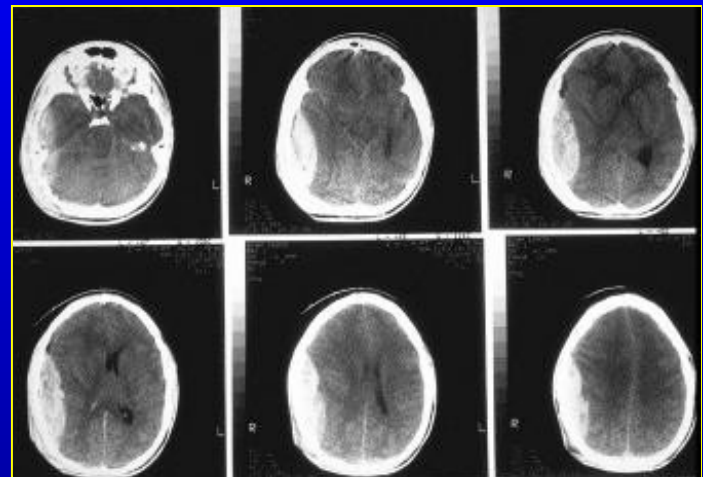
Tab.1. Přehled prvních prací, které vedly ke stanovení rozpětí normálních hodnot $p_{bt}O_2$				
	Normální hodnoty, mmHg			
Pes, experiment, pokles CPP	28 ±7			Maas, Acta neurochir 1993 (1)
Člověk, operace tumoru mozku	48±13			Meixenberger , Acta neurochir 1993 (2)
Kočka, experiment na mozku	42±09			Zauner et al., Neurosurgery 1995 (3)
Člověk, ischemie	37±12			Hoffman, Neurol res 1996 (4)
Člověk, trauma	30±13			van Sabrink, Neurosurgery 1996 (5)
	(GOS) Good outcome mmHg		(GOS) Poor outcome mmHg	
20 pacientů, trauma	36± 6		18± 8	Zauner et al., Neurol res 1997 (6)
	(GOS) Good outcome mmHg	(GOS) Moderate/severe disability mmHg	(GOS) Death/vegetative state mmHg	
24 pacientů, trauma	>35	26-35	≤ 25	Zauner et al., Neurosurgery 1997 (7)
60 pacientů, trauma	39± 4	31± 5	19± 8	Zauner et al., Neurol. Res 1998 (8)

# Klinické použití

---

**monitorace následků ischemického poškození mozkové tkáně (sekundárního poranění)**

- **kraniocerebrální poranění**
- **indikace shodná s měřením ICP**
- **subarachnoidální krvácení**

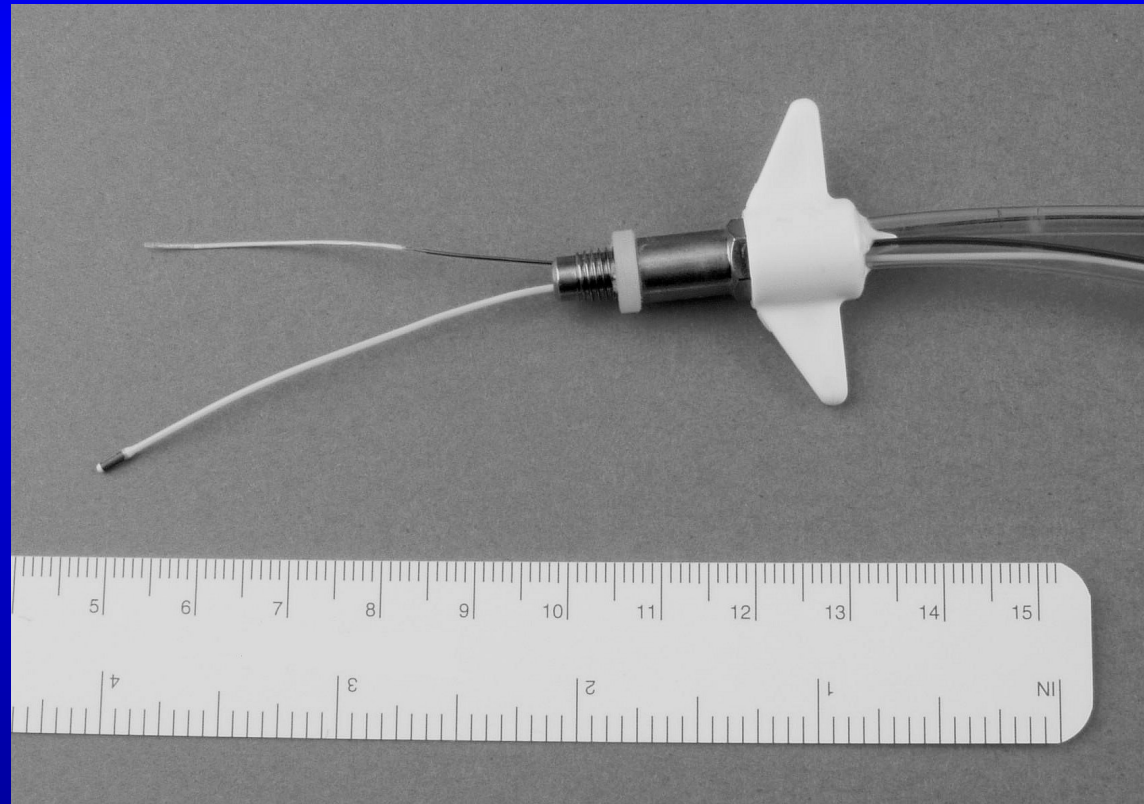


# Způsob zavedení čidla

---

**analogický jako u ICP**

**-všechna čidla obsáhne jeden fixační šroub**



# Umístění čidla

---

## **bílá hmota mozková**

- **test správného zavedení a funkčnosti**
- **zvýšení  $FiO_2$  ve ventilované směsi**
- **správně pracující čidlo reaguje nárůstem hodnot tkáňového kyslíku**



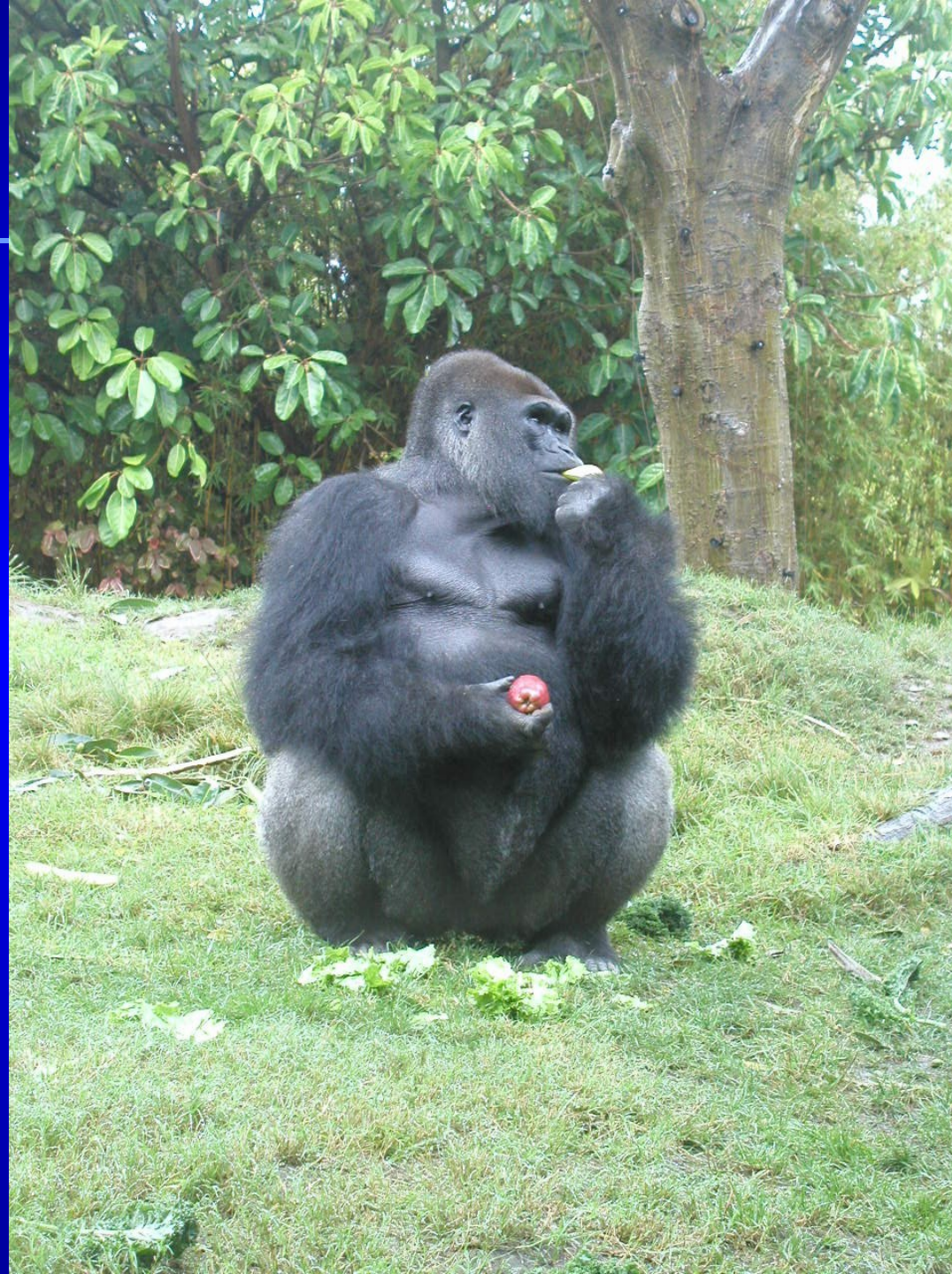
# Umístění čidla

---

1. patologické ložisko

2. penumbra

3. zdravá tkáň



# Patologické ložisko

---

- kontuze, ischemie, hemoragie
  - hodnoty  $P_{tiO_2}$  nízké a terapeuticky je nelze ovlivnit (oblast primárního poranění)
- terapeutická opatření mohou způsobit přehnanou dodávku kyslíku do okolní zdravé tkáně
- **nejméně přínosné**

# Penumbra

---

- okolní poškozená oblast s dosud vitální mozkovou tkání
- je největší riziko sekundárních ischemických změn
- místo ideální, avšak obtížná lokalizace
  - dle CT nález

# Měření $P_{ti}O_2$ ve zdravé tkáni

---

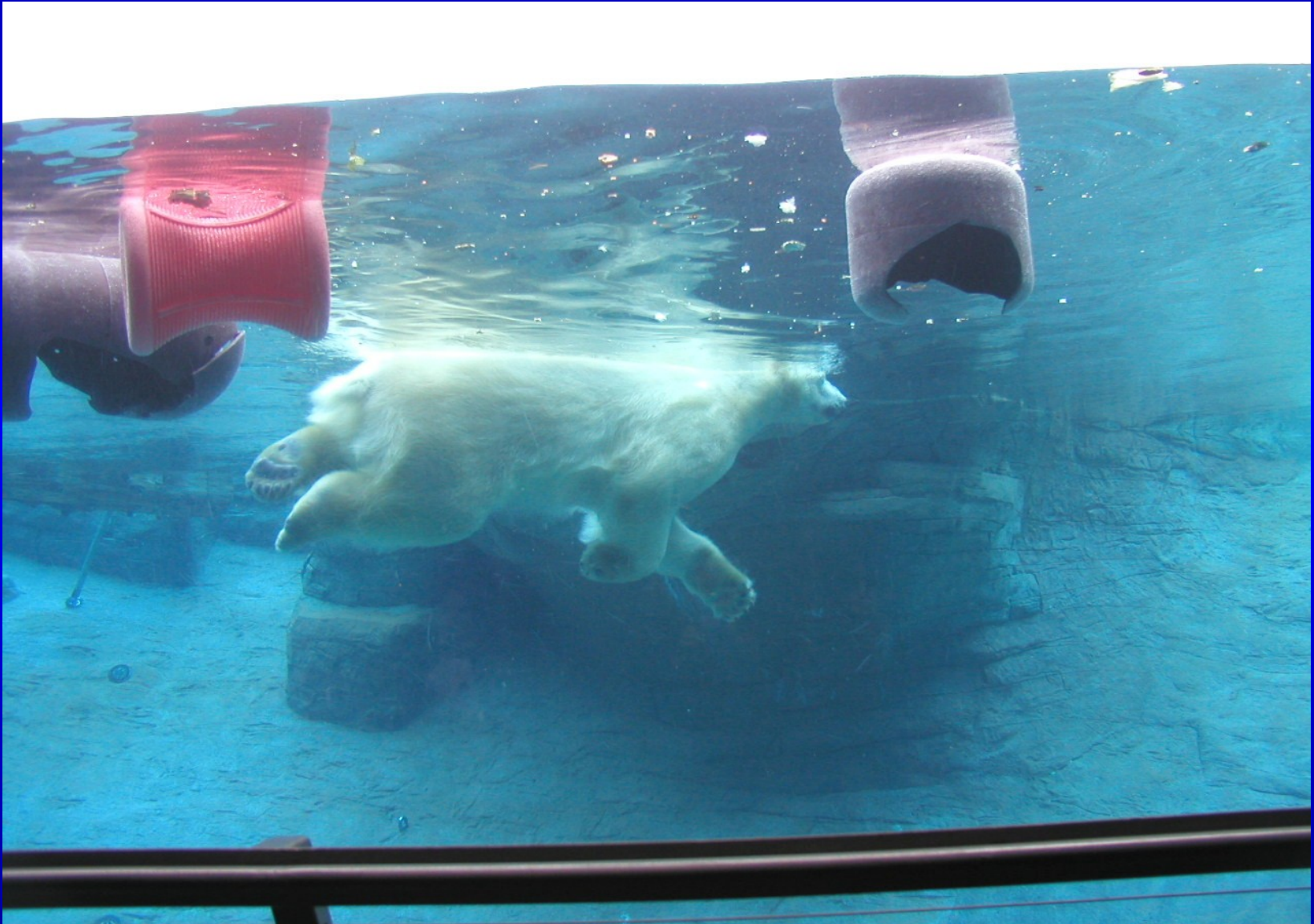
- při jednostranném poškození se čidlo zavede do nepoškozené hemisféry

získané hodnoty nemusí korelovat s obvyklými terapeutickými postupy

- hodnota nízká i při ICP v normě
  - ICP zvýšeném
  - poklesu CPP pod 60 mmHg
- při zvýšení CPP dochází k nárůstu  $P_{ti}O_2$
- může časně detekovat inzult ve zdravé tkáni
  - měření je citlivější a přesnější než ICP a  $SvjO_2$

Kiening 1996

# Faktory ovlivňující $P_{ti}O_2$



# Hypoxie

---

Nejčastější příčina poklesu  $P_{ti}O_2$  a vyžaduje okamžitá opatření



# CPP

---

- pokles MAP  
a následně CPP  
pod 60 mmHg  
způsobí snížení  $P_{tiO_2}$
- zvýšení CPP vede  
nárůstu  $P_{tiO_2}$



# Hypokapnie

---

**Hyperventilace vede k poklesu  $P_{ti}O_2$   
i za normálných hodnot  $S_{vj}O_2$**

**- podpora teorie o nežádoucím vlivu hyperventilace  
u pacientů s KCP**

**Zauner 1997**



# CBF

---

**Dobrá korelace u mozkových traumat při xenonovém CT**

**CBF pod 18ml/100g/min spojeno s poklesem PtiO<sub>2</sub> pod 26 mmHg**

**Menzel 1999**

# Hyperoxie

---

Zvýšením  $FiO_2$  lze zvýšit hodnotu  $PtiO_2$   
- nejasné zda-li působí neuroprotektivně



USA, říjen 2004, San Diego - ZOO

## Nízké hodnoty $P_{ti}O_2$ (pod 20 mmHg)

---

***zvýšená spotřeba kyslíku***

**zvýšený nitrolební tlak** (manitol, komorová drenáž,  
sedace, dekomprese)

**bolest** (analgetika)

**třes** (meperidine, chlorpromazin, relaxace)

**neklid** (sedativa)

**křeče** (benzodiazepiny, antikonvulsiva)

**teplota** (acetaminophen, nesteroidní antiflogistika,  
fyzikální chlazení)

## Nízké hodnoty $P_{ti}O_2$ (pod 20 mmHg)

---

### *nízká dodávka kyslíku*

**hypotenze** (volumoterapie, noradrenalin)

**hypovolemie** (volumoterapie)

**anemie** (transfúze erytrocytárních koncentrátů)

**hypoxie** (zvýšení  $FiO_2$ , zvýšení hodnoty PEEP)

## Vysoké hodnoty $P_{ti}O_2$ (nad 50 mmHg)

---

***snížená spotřeba kyslíku***

**sedativa, anestezie, relaxace (snížení dávek,  
terapie není nutná)**

***zvýšená dodávka kyslíku***

**hyperemie mozku (hyperventilace)**

**hypotermie (návrat k normotermii)**

# Závěr

---

- **nedostatečné zásobování mozkové tkáně kyslíkem je hlavní příčinou rozvoje sekundárního poškození mozku**
- **monitorování  $P_{tiO_2}$  se stává součástí běžné klinické praxe**
- **získaná data slouží k volbě terapeutických opatření**
- **konečným efektem je zlepšení prognózy pacientů s KCP a SAK (hlavní indikace)**

