

Monitoring PbtO₂ pri traume hlavy

A.Martonová, V. Chvošíková, A. Dobišová, R. Záhorec

I.KAIM LFUK a UNBa Ružinov



UNIVERZITNÁ
NEMOCNICA
BRATISLAVA



NEMOCNICA
RUŽINOV

Konflikt záujmů

- Vyhlasujem, že nemám konflikt záujmů.

BLUNT IMPACT



PENETRATING INJURY



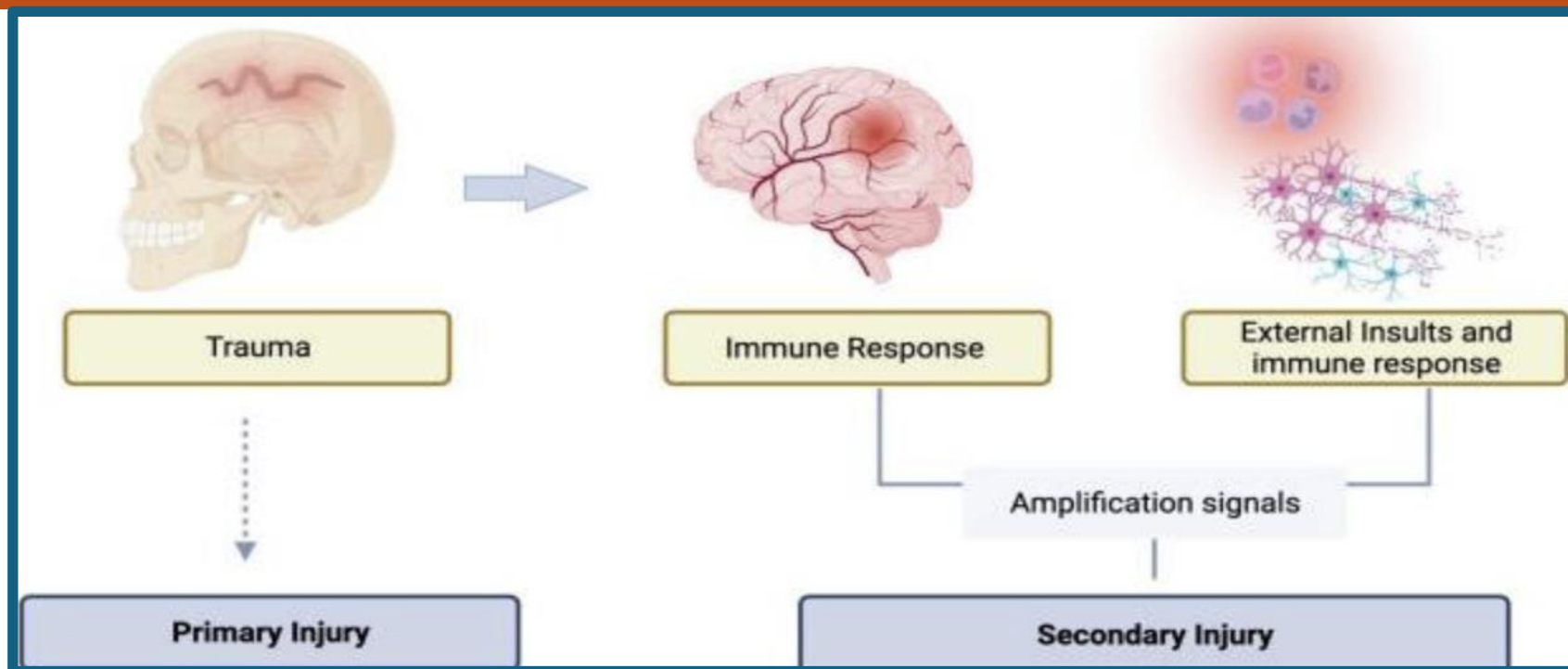
BLAST WAVE



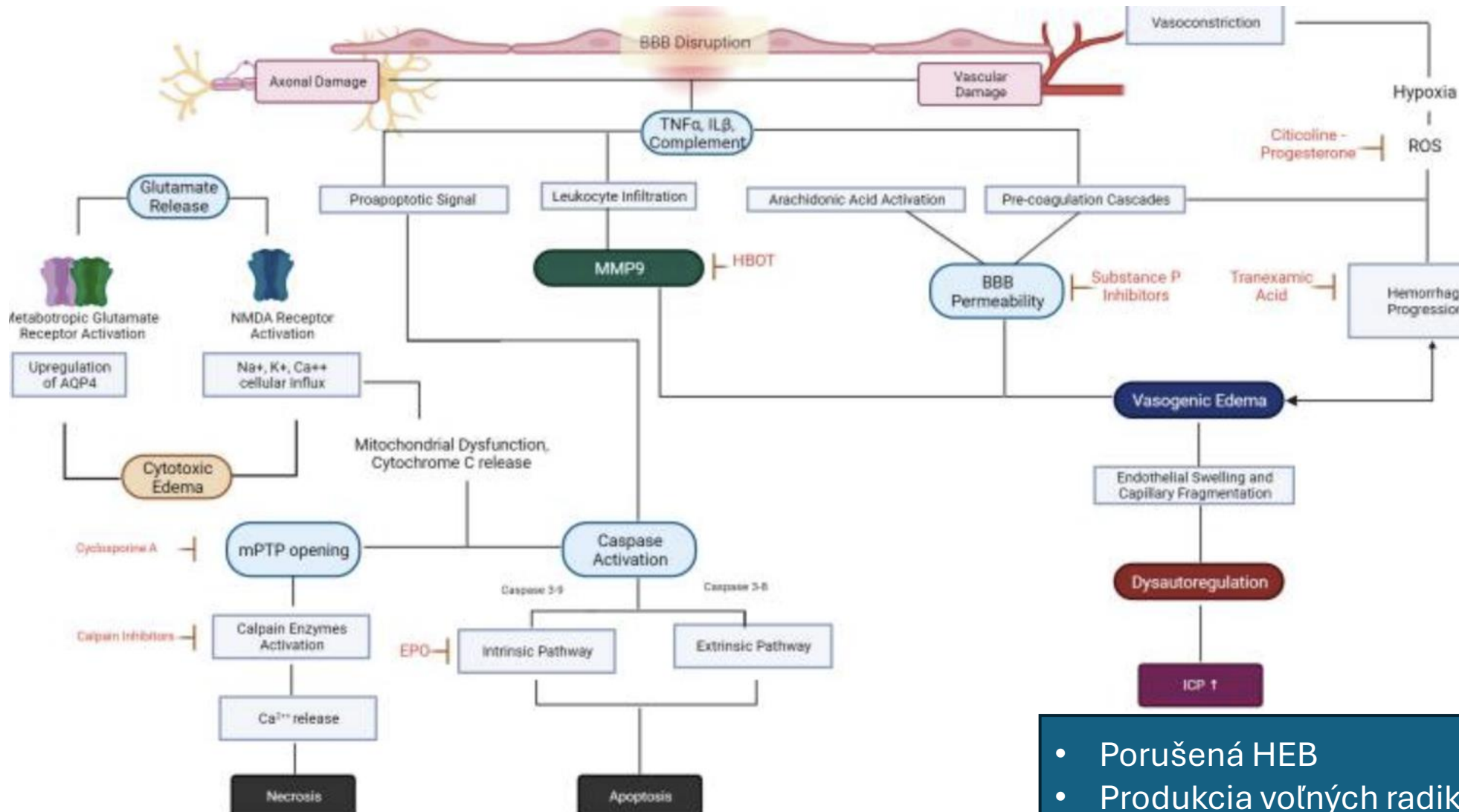
ACCELERATING-
DECELERATING FORCE



Primárne
poškodenie
mozgového
parenchýmu
je *irreverzibilné*



de Macedo Filho L, Figueredo LF, Villegas-Gomez GA, Arthur M, Pedraza-Ciro MC, Martins H, Kanawati Neto J, Hawryluk GJ, Amorim RLO. Pathophysiology-Based Management of Secondary Injuries and Insults in TBI. Biomedicines. 2024



- Porušená HEB
- Produkcia voľných radikálov a zápalových cytokínov, vazogénny edém
- Uvoľnenie excitačných aminokyselín
- Porucha iónového transportu, cytotoxický edém
- Mitochondriálna dysfunkcia
- Apoptóza, nekróza

de Macedo Filho L, Figueredo LF, Villegas-Gomez GA, Arthur M, Pedraza-Ciro MC, Martins H, Kanawati Neto J, Hawryluk GJ, Amorim RLO. Pathophysiology-Based Management of Secondary Injuries and Insults in TBI. Biomedicines. 2024

Porucha prietoku krvi mozgom

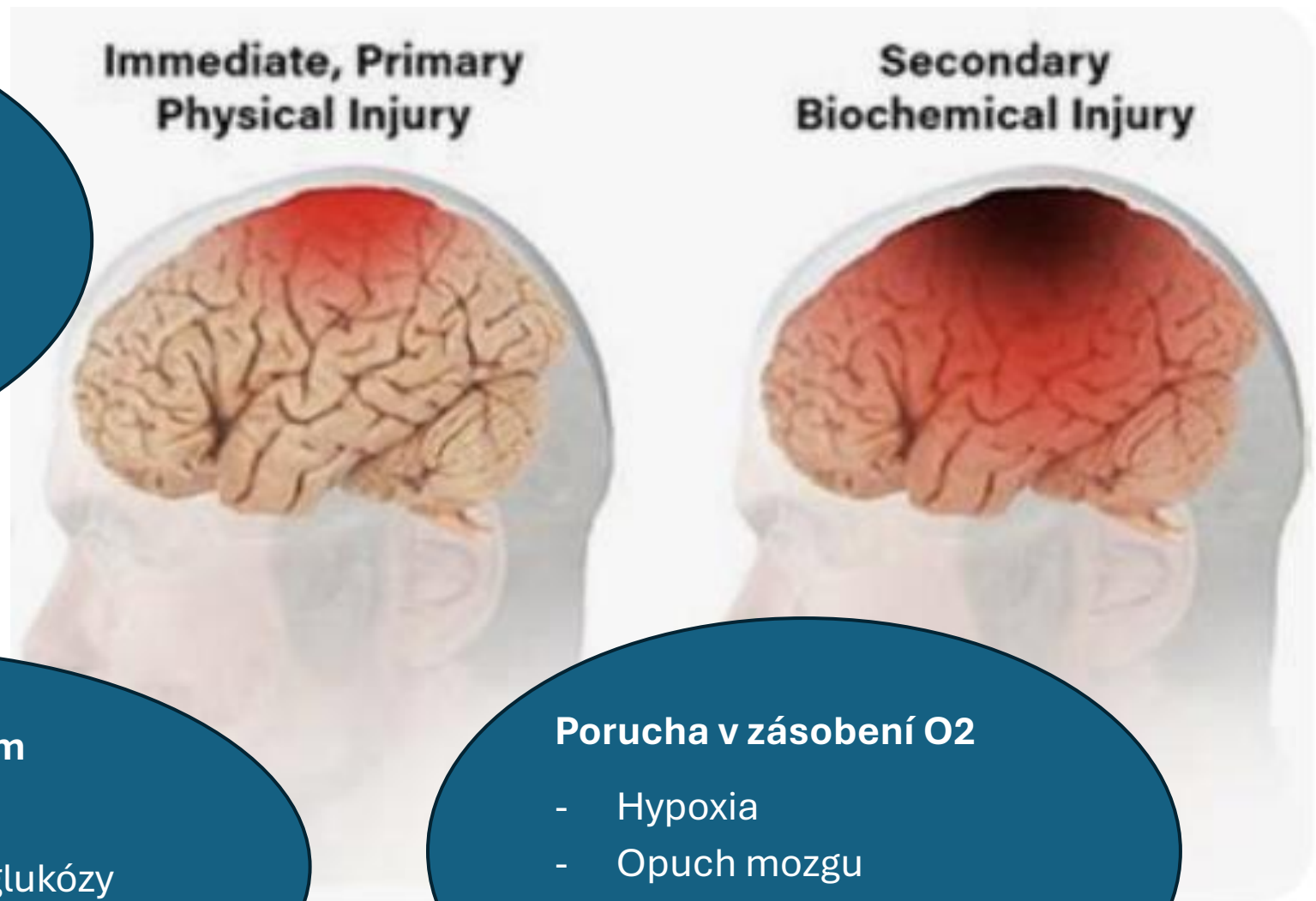
- Porucha autoregulácie
- Zvýšené ICP
- Hypotenzia
- Nízky srdcový výdaj

Porucha v energetickom metabolizme

- Porušená utilizácia glukózy
- Nízka dostupnosť glukózy
- Poškodenie mitochondrií

Porucha v zásobení O₂

- Hypoxia
- Opuch mozgu
- Zvýšená spotreba O₂
- Porucha O₂ regulácie



Základný monitoring pacienta s ťažkým TBI

- Pravidelné neurologické vyšetrenie
- ICP, CPP (ICP < 20 mmHg,
CPP 60 – 70 mmHg)
- PaO₂, SpO₂, PaCO₂, EtCO₂
- Hemodynamika, tekutinová bilancia
- Hemoglobín, ionogram, osmolalita

Následný manažment pacienta:

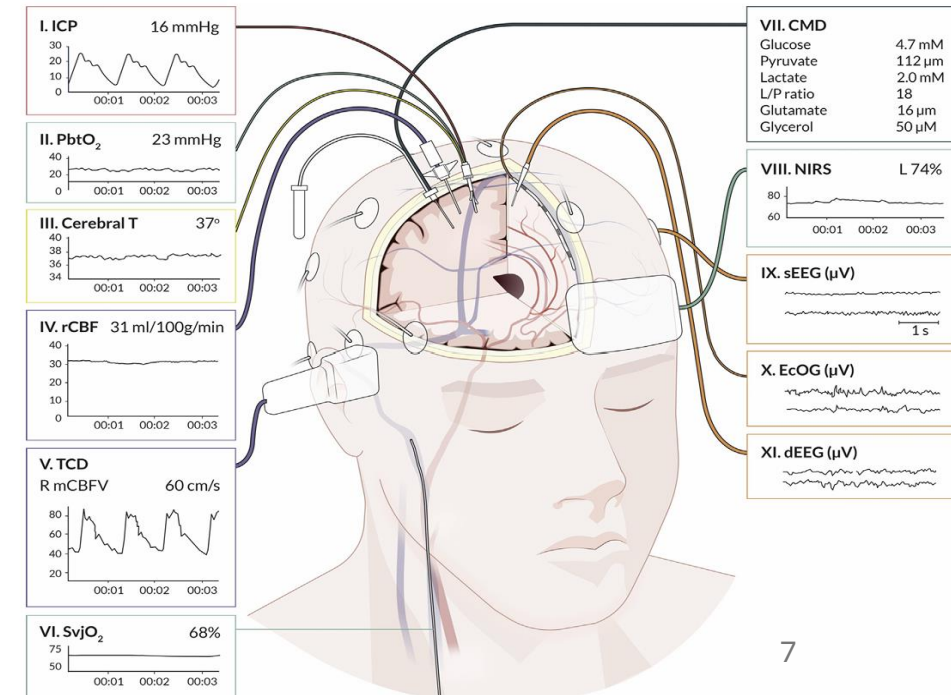
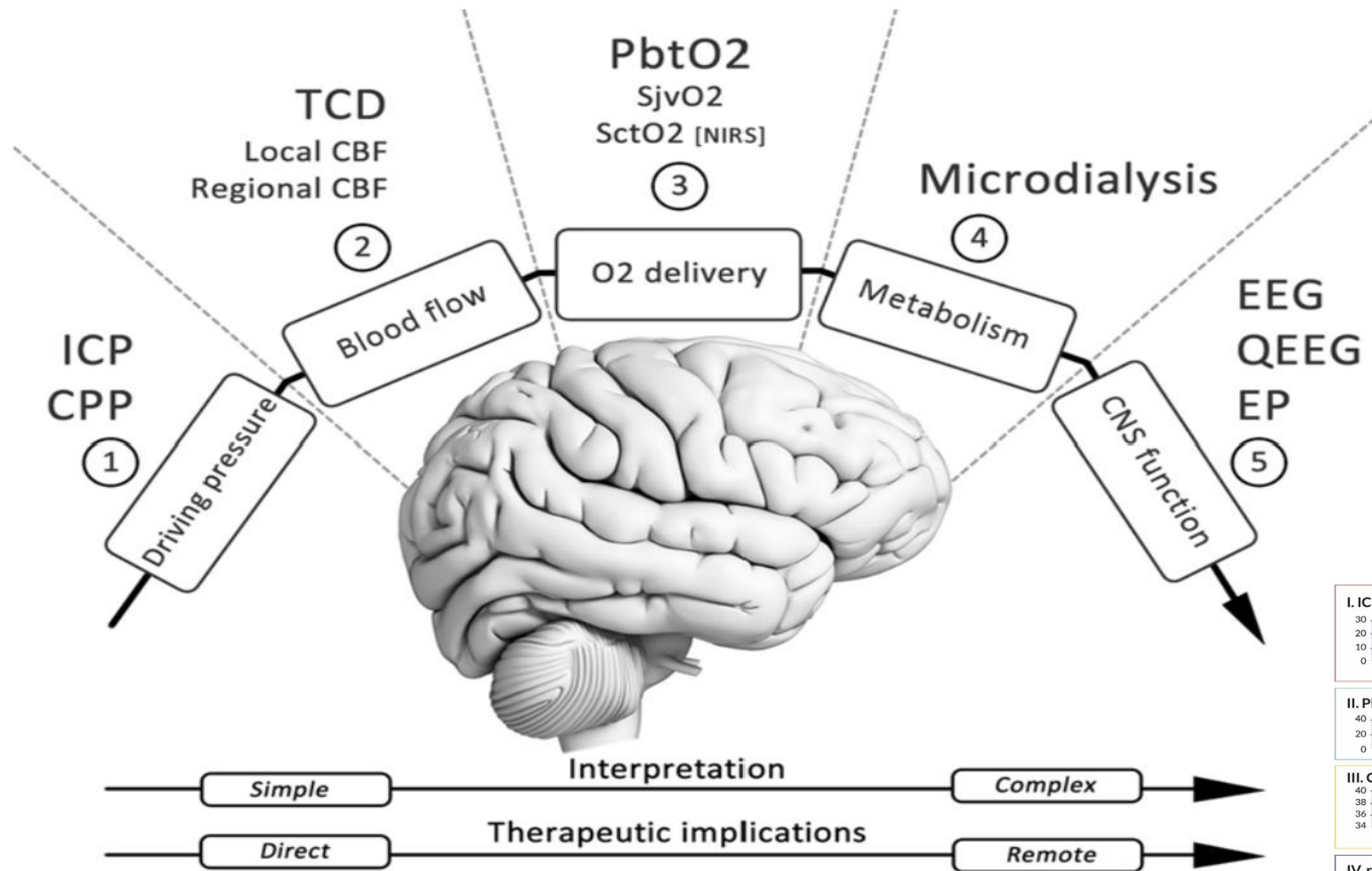
- udržanie všetkých parametrov vo fyziologickom rozmedzí
- liečba je riadená podľa ICP/ CPP (Rosnerov koncept)

Problémy:

- ICP je ukazovateľom intrakraniálnej expanzie.
- Umiestňovanie arteriálneho tlakového prevodníka.
- CPP iba odhadujeme na základe výpočtu $CPP = MAP - ICP$.



Multimodalny monitoring



Multimodality Monitoring in Neurocritical Care – Peripheral Brain

Tas J, Czosnyka M, van der Horst ICC, Park S, van Heugten C, Sekhon M, Robba C, Menon DK, Zeiler FA, Aries MJH. Cerebral multimodality monitoring in adult neurocritical care patients with acute brain injury: A narrative review. Front Physiol. 2022 Dec 1;13:1071161. doi: 10.3389/fphys.2022.1071161. PMID: 36531179; PMCID: PMC9751622.

Odporúčania pre monitoring pacientov s TBI/SAH

BTF 2016 TBI

Intracranial pressure monitoring	Level IIB
• Management of severe TBI patients using information from ICP monitoring is recommended to reduce in-hospital and 2-week post-injury mortality.	
Recommendations from the prior (Third) Edition not supported by evidence meeting current standards.	
ICP should be monitored in all salvageable patients with a TBI (GCS 3-8 after resuscitation) and an abnormal CT scan. An abnormal CT scan of the head is one that reveals hematomas, contusions, swelling, herniation, or compressed basal cisterns.	
ICP monitoring is indicated in patients with severe TBI with a normal CT scan if ≥ 2 of the following features are noted at admission: age >40 years, unilateral or bilateral motor posturing, or SBP <90 mm Hg.	
Cerebral perfusion pressure monitoring	Level IIB
• Management of severe TBI patients using guidelines-based recommendations for CPP monitoring is recommended to decrease 2-wk mortality.	
Advanced cerebral monitoring	Level III
• Jugular bulb monitoring of AVDO ₂ , as a source of information for management decisions, may be considered to reduce mortality and improve outcomes at 3 and 6 mo post-injury.	

AHA/ASA

2023 Guideline for the Management of Patients With Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage

2b	B-NR	4. In patients with high-grade aSAH, invasive monitoring of brain tissue oxygenation, lactate/pyruvate ratio, and glutamate may be considered to predict DCI. ^{293–305}
----	------	--

[illegible]

- 112 štúdií v rokoch 2015-2022.
- Heterogénna skupina pacientov.
- Väčšina bola observačná.
- 7 z 9 MMM guided intervenčných štúdií ukázalo signifikantné zlepšenie klinického outcome v skupine riadenej MMM.

Monitoring PbtO₂ (od r.1993)

- Licor PbtO₂ monitoring system (Integra Life Sciences Corporation)

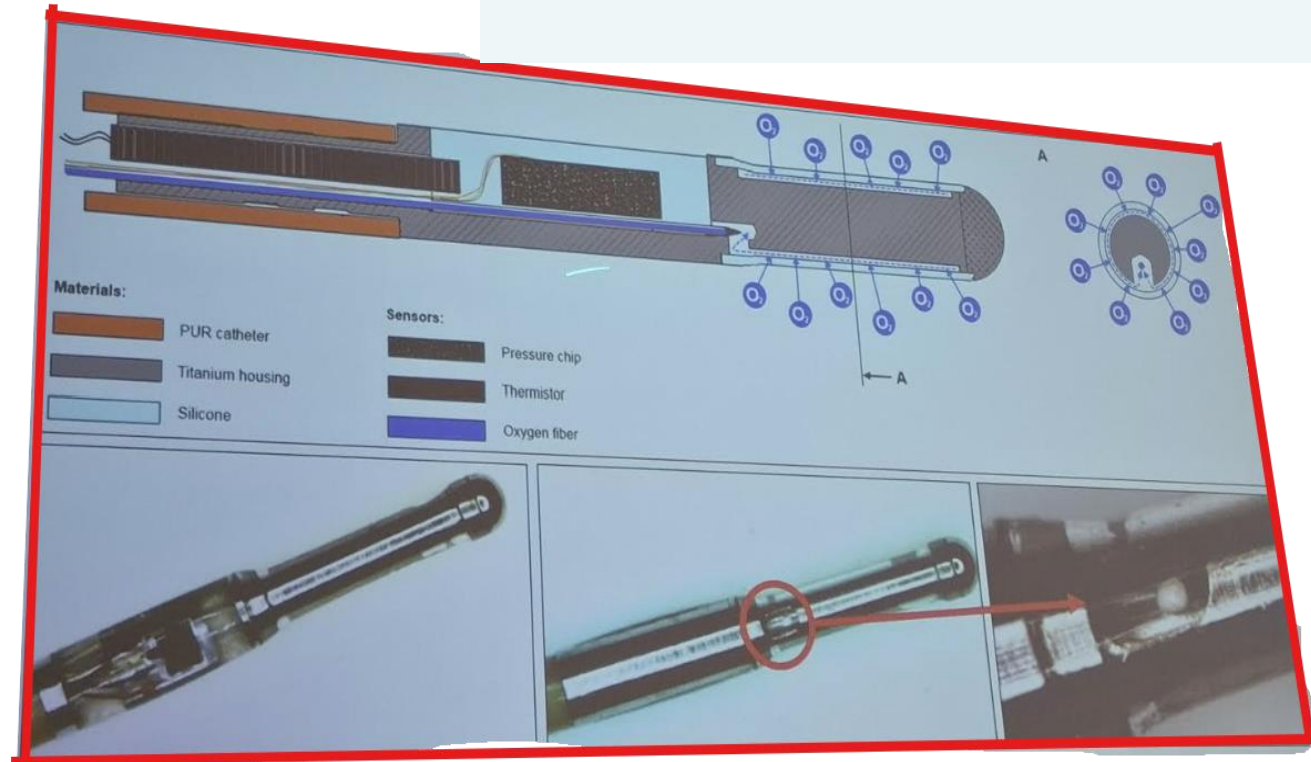
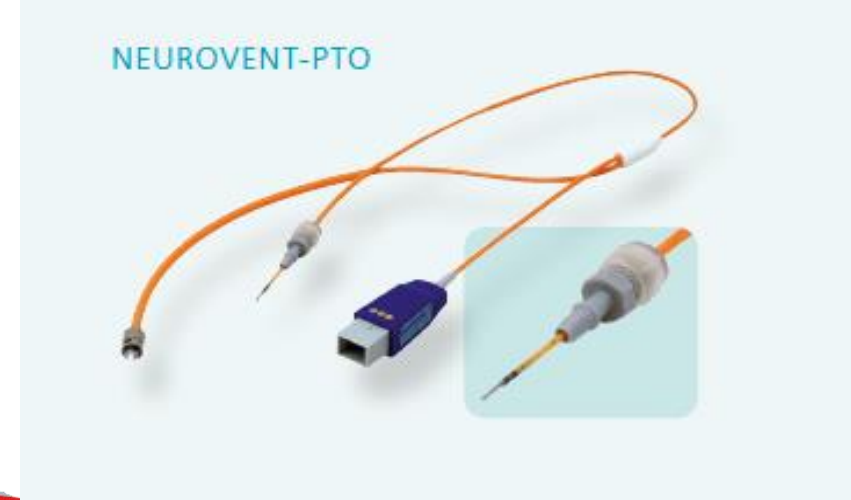
- Clarkova elektróda
- Reflektuje oblasť asi 13 mm²
- Doba použiteľnosti 5 dní

- Neurovent-PTO (Raumedic)

- Meria simultánne ICP, teplotu a PbtO₂
- PbtO₂ meria fiberopticky luminiscenčne
- Informácie z 22 mm² mozgu
- Vyhodnocuje PRx, ORx a CPPopt

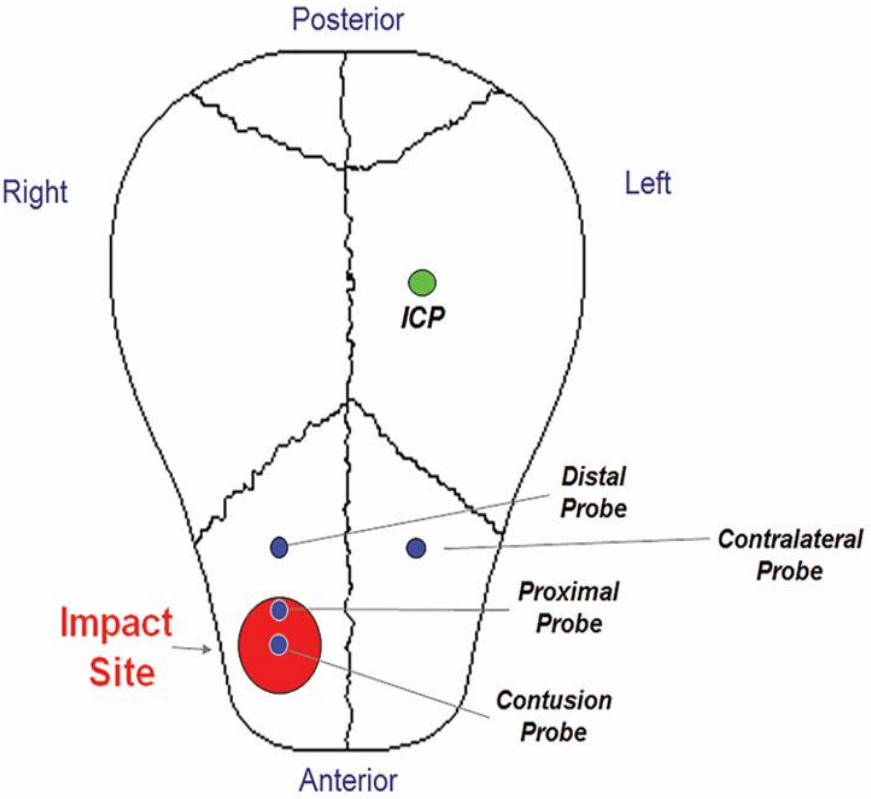
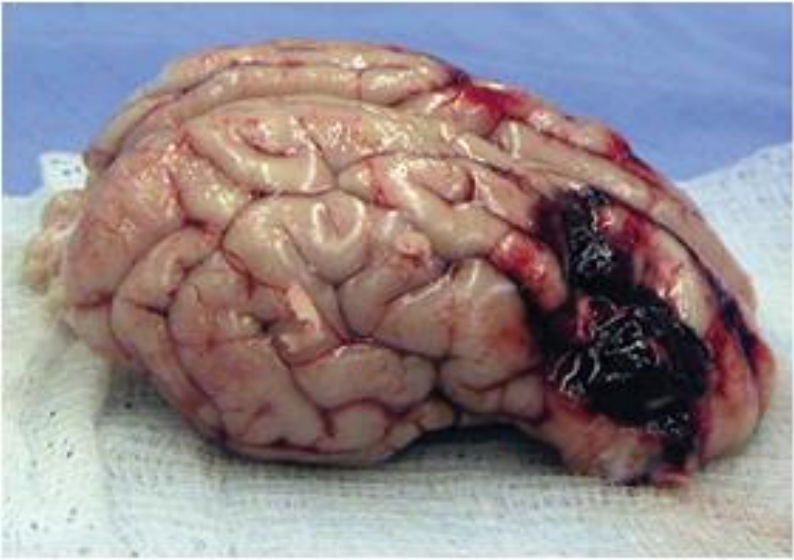
(**P**ressure **R**eactivity index – funkčnosť mozgovej tlakovej autoregulácie ,

Oxxygen **R**eactivity index (PbtO₂, CPP) , **O**ptimálny cerebrálny perfúzny tlak)

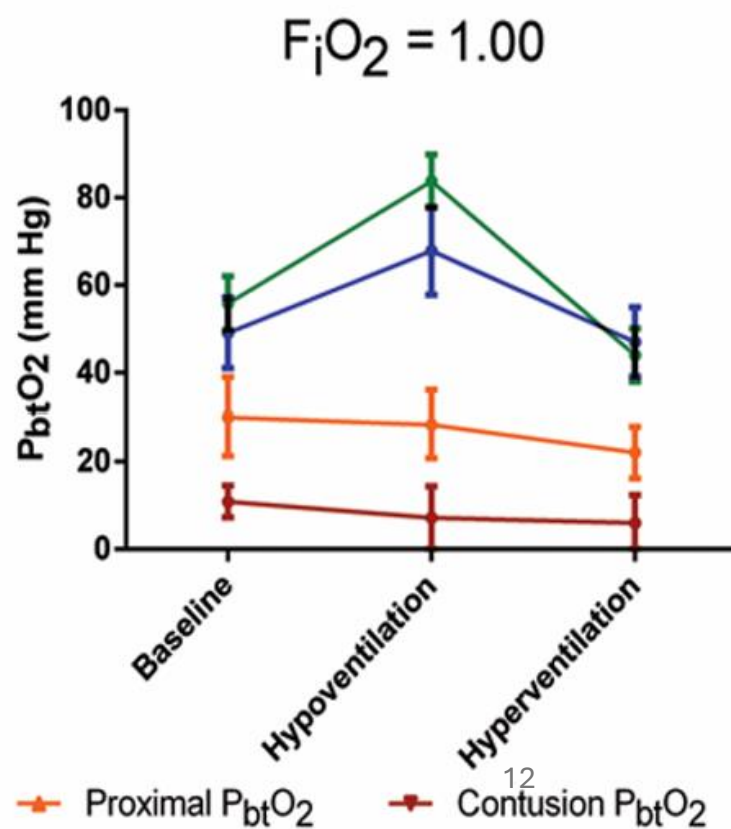
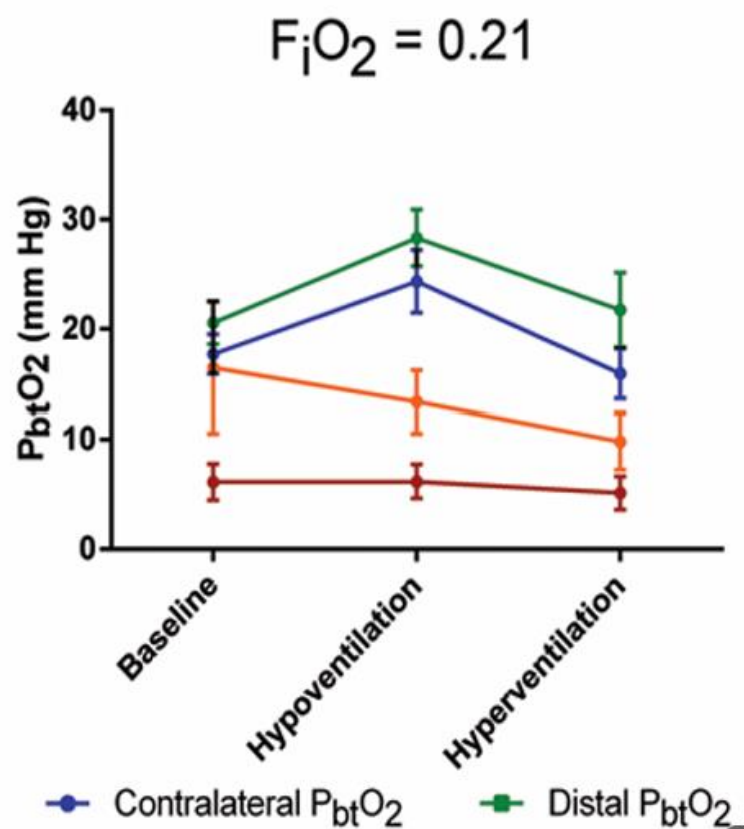




Hawryluk, G. W. J., Phan, N., Ferguson, A. R., Morabito, D., Derugin, N., Stewart, C. L., Knudson, M. M., Manley, G., & Rosenthal, G. (2016). Brain tissue oxygen tension and its response to physiological manipulations: influence of distance from injury site in a swine model of traumatic brain injury. *Journal of Neurosurgery JNS*, 125(5), 1217-1228. <https://doi.org/10.3171/2015.7.JNS15809>



Po zavedení sondy CT kontrola



Nízke PbtO₂

Dodávka O₂ pre mozgový parenchým: CBF x CaO₂

$$\text{O}_2 \text{ delivery} = \text{cardiac output} \times \text{CaO}_2$$
$$\text{CaO}_2 = \underbrace{(1.34 \times [\text{Hb}] \times \text{S}_{\text{pO}_2})}_{\text{Hb-bound O}_2} + (0.003 \times \text{P}_{\text{aO}_2})_{\text{dissolved O}_2}$$

- presun O₂ cez HEB (edém, porucha mikrocirkulácie)

Spotreba O₂ závisí od:

- úrovne metabolizmu mozgu
(sedácia, epileptický záchvat, horúčka, tras)
- funkčnosti mitochondrií

Mozog

- Tvorí 2% hmotnosti tela
- Vyžaduje 15% CO
- Spotrebuje 20% O₂

PbtO₂ odráža

- CBF
- Metabolizmus mozgu
- Poruchu extrakcie O₂ v mozgu

Merania sú lokálne

> Crit Care Med. 2015 Feb;43(2):445-52. doi: 10.1097/CCM.0000000000000720.

Accuracy of brain multimodal monitoring to detect cerebral hypoperfusion after traumatic brain injury

Pierre Bouzat ¹, Pedro Marques-Vidal, Jean-Baptiste Zerlauth, Nathalie Sala, Tamarah Suys, Patrick Schoettker, Jocelyne Bloch, Roy T Daniel, Marc Levivier, Reto Meuli, Mauro Oddo

- 27 pacientov s TBI (89% s difúznym poranením)
- ICP, PbtO₂, CMD sondy umiestnené do normálneho tkaniva pravého frontálneho laloka, následne perfúzne CT – perfúzia v okolí sondy (regionálny prietok krvi) a bilaterálne v supraventrikulárnych oblastiach (globálny prietok krvi mozgom)
- 30 perfúzných CT
- Regionálny CBF signifikantne koreloval s globálnym CBF.
- Záver:

MMM v zmysle ICP + PbtO₂ alebo ICP + PbtO₂ + CMD je presnejší ako ICP samotné v bedside detekcii mozgovej hypoperfúzie u pacientov so závažným TBI, a predominantne difúznym poranením

PbtO2 môže ukazovať normálne hodnoty a vyvinie sa ischemia:

- Vzdialenosť od ložiska
- Metabolická kríza pri normálnom zásobení oblasti sa na PbtO2 neprejaví (mitochondriálna dysfunkcia pri zvýšených energetických požiadavkách), CMD LPR > 40

Carre E, Ogier M, Boret H, Montcriol A, Bourdon L, Jean-Jacques R. Metabolic crisis in severely head-injured patients: is ischemia just the tip of the iceberg? Front Neurol. 2013 Oct 11;4:146. doi: 10.3389/fneur.2013.00146. PMID: 24130548; PMCID: PMC3795329.

- Podstata používania PbtO2 sondy:
 - zlepšenie hodnoty PbtO2 sa odrazí na lepšom klinickom výsledku pacientov
 - jednoznačný názor však zatiaľ neexistuje
- PbtO2 sa pri kraniocerebrálnom poranení používa od r. 1993, štúdie majú protichodné výsledky.
- Najvýznamnejšia štúdia BOOST2

Brain Oxygen Optimization in Severe Traumatic Brain Injury Phase-II: A Phase II Randomized Trial*

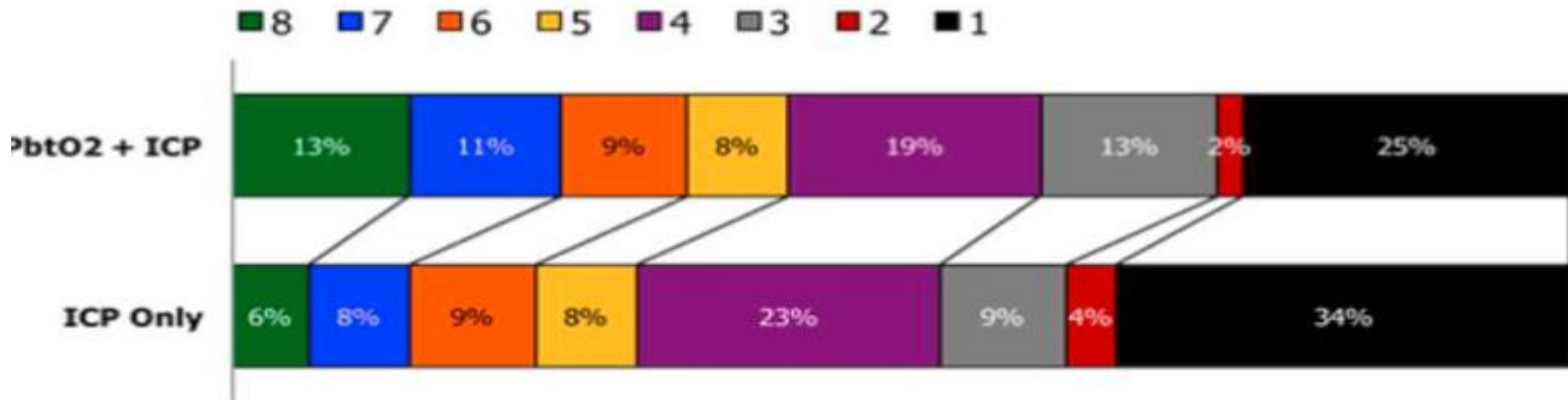
Okonkwo, David O. MD, PhD¹; Shutter, Lori A. MD¹; Moore, Carol MA²; Temkin, Nancy R. PhD³; Puccio, Ava M. RN, PhD¹; Madden, Christopher J. MD⁴; Andaluz, Norberto MD⁵; Chesnut, Randall M. MD³; Bullock, M. Ross MD, PhD⁶; Grant, Gerald A. MD, FACS⁷; McGregor, John MD⁸; Weaver, Michael PhD⁹; Jallo, Jack MD, PhD¹⁰; LeRoux, Peter D. MD, FACS¹¹; Moberg, Dick MSE¹²; Barber, Jason MS³; Lazaridis, Christos MD¹³; Diaz-Arrastia, Ramon R. MD, PhD¹⁴

- Randomizovaná prospektívna štúdia, publikovaná v 2017 v Critical Care Medicine
- 10 ICU v USA, 119 pacientov so závažným TBI
- Všetci pacienti mali zavedený parenchýmový **ICP snímač a sondu Licox**.
- **Polovica mala zakrytý monitor PbtO2.**
- Sonda kontralaterálne viditeľným léziám, do oblasti frontálneho laloka, ktorý vyzerá nepoškodený, do hĺbky 2cm.
- Snímač zavedený 5 dní.
- Pri **vzostupe ICP nad 20mmHg** na viac ako 5 minút sa postupovalo podľa štandardizovaného protokolu.
- Ak mal pacient monitorované ICP a PbtO2, manažment zvýšeného ICP bol rovnaký, plus pri **poklese PbtO2 pod 20 mmHg** po dobu viac ako 5 minút sa tiež postupovalo podľa štandardizovaného protokolu.

Výsledky:

- ICP bolo v oboch skupinách približne rovnaké
- **Liečbou sa znížilo trvanie hypoxie o 66%** a hĺbka hypoxie o 72%
- Mortalita 34 vs 25%, zlepšené GOS-E skóre v kategórii 5-8 o 11%, v kategórii 8 to bolo 13% vs 6%, vyhodnotili to ako **trend k lepšiemu** outcome vzhľadom na malý počet pacientov
- **protokol** na liečbu vzostupu ICP /poklesu PbtO2 vyhodnotili ako bezpečný

GOS-E at 6 Months



8 = Upper Good Recovery; 7 = Lower Good Recovery; 6 = Upper Moderate Disability; 5 = Lower Moderate Disability; 4 = Upper Severity Disability; 3 = Lower Severe Disability; 2 = Vegetative State; 1 = Dead

A management algorithm for adult patients with both brain oxygen and intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC)

- 42 expertov na TBI z celého sveta
- Odporúčaná liečebný algoritmus
- Class III
- Nie je právne záväzný

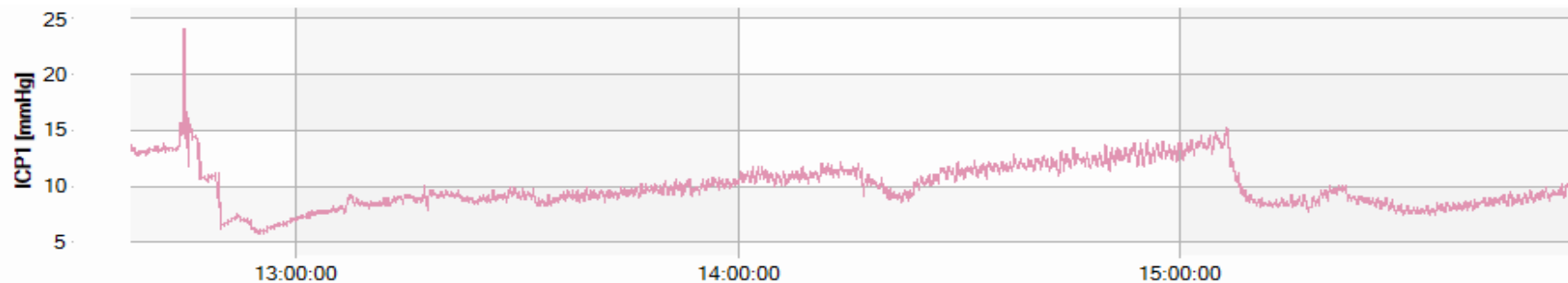
	ICP < 22 mmHg	ICP > 22 mmHg
$P_{btO_2} > 20$ mmHg	Type A	Type B
$P_{btO_2} < 20$ mmHg	Type C	Type D

Multimodálny neuromonitoring nášho pacienta

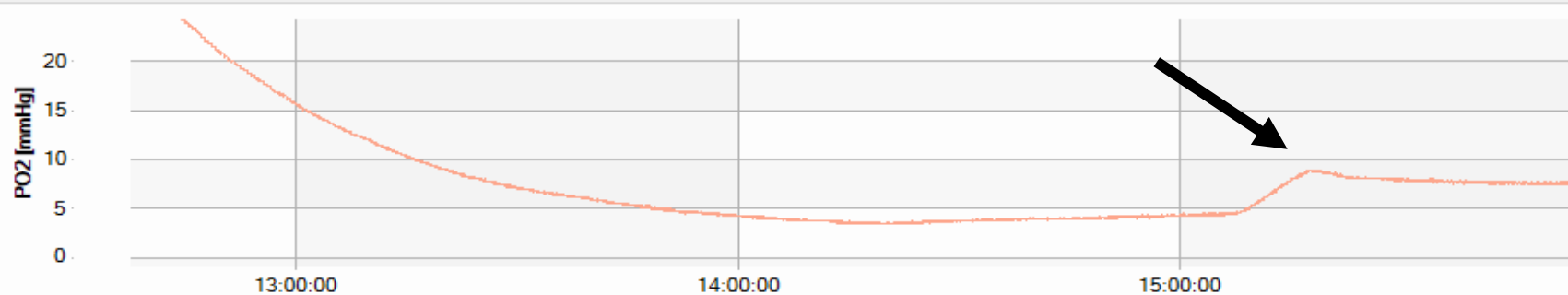
- 27-ročný pacient - po páde zo strechy z výšky cca 4m
- na mieste nehody - GCS 7 (E1M5V1)
- na vstupnom CT vyšetrení:
traumatický SAH T vpravo, prepontínne a v PC uhle vľavo, minoritne v supraselárnej cisterne
- ICP snímač bol zavedený frontálne vpravo do zdravého parenchýmu
 - vstupná hodnota ICP bola 17 mmHg
 - PbtO2 bolo nízke prvých 6 hodín
- Realizovaná kyslíková výzva na overenie funkčnosti sondy
 - Napr. podľa protokolu BONANZA štúdie:
 - Zvýšiť FiO2 na 100% na 5 minút, alebo kým PbtO2 nestúpne o 5 mmHg. Ak stúpne o 5 mmHg, ukončíte výzvu a vráťte FiO2 na pôvodnú hodnotu
 - Ak PbtO2 stúpne o 5 mmHg, sonda je funkčná (výsledok môže byť aj menej ako 20 mmHg)
 - Ak nestúpne, treba monitorovať PbtO2 ešte 10 minút, môže reagovať oneskorene.
 - Ak nestúpne, treba zopakovať výzvu po 4-6 hodinách, ak bude negatívna, treba CT kontrolu polohy sondy.

Kyslíková výzva

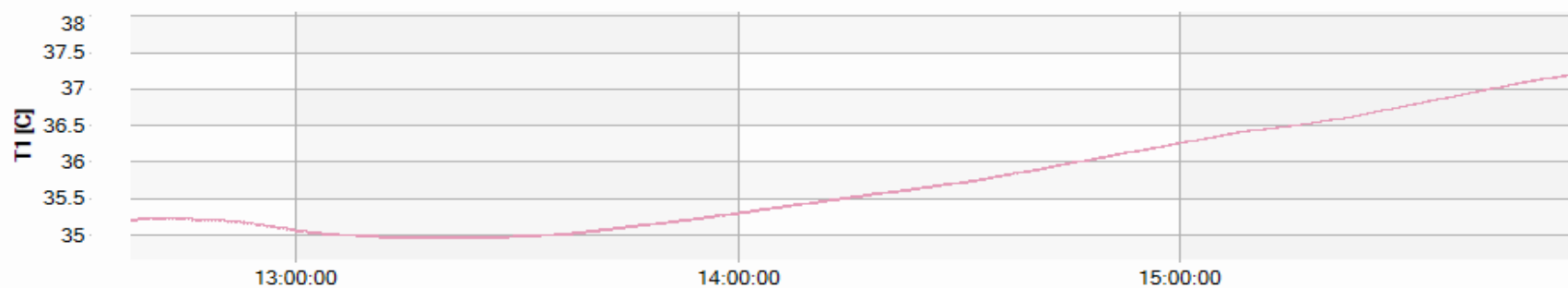
ICP



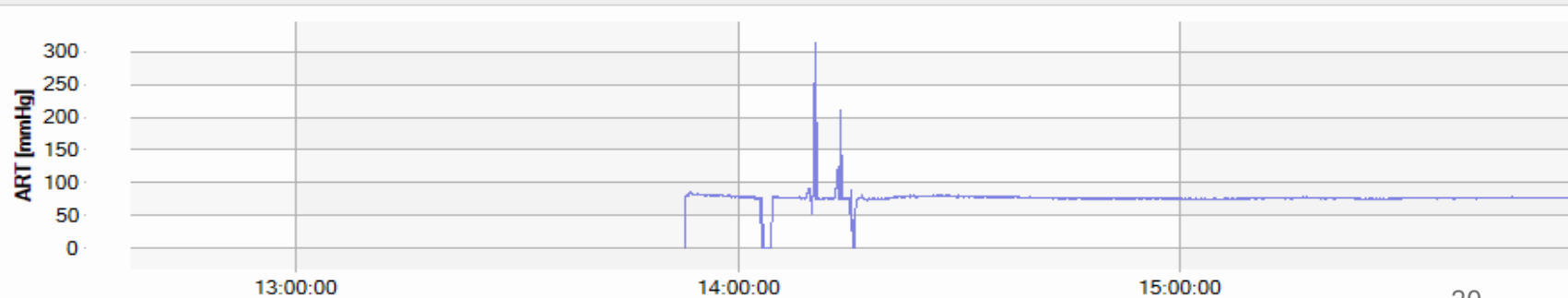
pO₂



T₁



MAP



Pacient bol **Typ C** (**ICP < 22 mmHg** ; **PbtO₂ < 20 mmHg**)

	ICP < 22 mmHg	ICP > 22 mmHg
P _{bt} O ₂ > 20 mmHg	Type A	Type B
P _{bt} O ₂ < 20 mmHg	Type C	Type D

Úroveň 1:

- Elevácia hlavy, aby sa znížilo ICP
- Telesná teplota < 38 °C.
- Optimalizácia CPP: navýšenie CPP na maximum 70 mmHg.
- Optimalizácia hemodynamiky
 - korekcia hypovolémie zlepši prietok krvi mozgom
 - korekcia hypervolémie diuretikami - zlepši difuzibilitu O₂
- Optimalizácia PaO₂ – po odbere ABR, ak PaO₂ je menej ako 20 kPa
 - FiO₂ zvýšiť do max 0.6
 - zvýšiť PEEP
 - toaleta dýchacích ciest
- Antiepileptiká
- Znížiť minútovú ventiláciu na PaCO₂ 38 - 42 mmHg (5-5.6 kPa), cieľové pH 7.35 - 7.45

Pacient bol **Typ C** (**ICP < 22 mmHg** ; **PbtO2 < 20 mmHg**)

Úroveň 2

- Skúsiť navýšiť CPP nad 70 mmHg.
- Znížiť minútovú ventiláciu na paCO_2 40 – 45 mmHg (5.3-6 kPa), cieľové pH 7.35 - 7.45.
- Optimalizácia PaO_2 – po odbere ABR
 - FiO_2 zvýšiť do 1.0, hneď ako je to možné FiO_2 znižovať, ale len o 5% za 30min
 - zvýšiť PEEP
 - Sanácia dýchacích ciest - bronchoskopia
- Drenáž likvoru - ak je zavedená drenáž
- Znížiť ICP pod 15 mmHg
- Zvýšiť analgosedáciu
- Transfúzia erymasy.
- Skúsiť neuromuskulárne relaxanciá

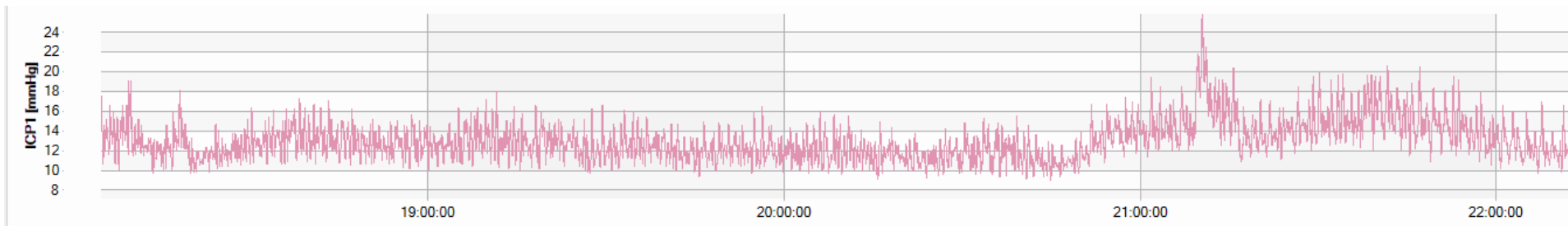
Úroveň 3

- Znížiť minútovú ventiláciu na $\text{paCO}_2 > 6$ kPa, cieľové pH 7.3 - 7.45.
- Zvýšiť srdcový výdaj - inotropikami
- CT AG, Doppler - vylúčiť:
 - vazospazmus
 - kortikálnu ischemiu,
 - trombózu splavov
- Skúsiť hyperventiláciu (možný reverzný Robin Hood syndróm)

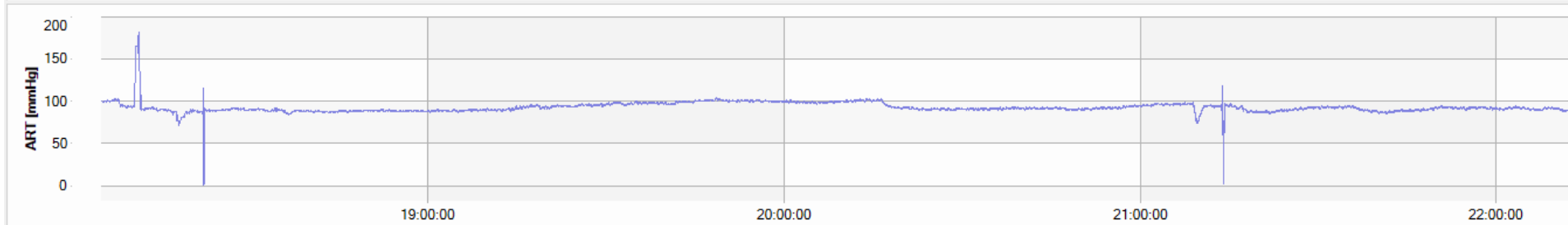


Klinické situácie nášho pacienta

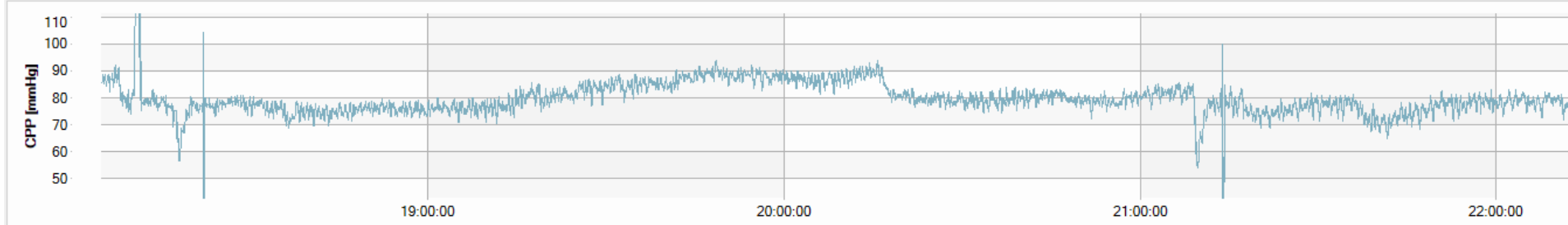
ICP



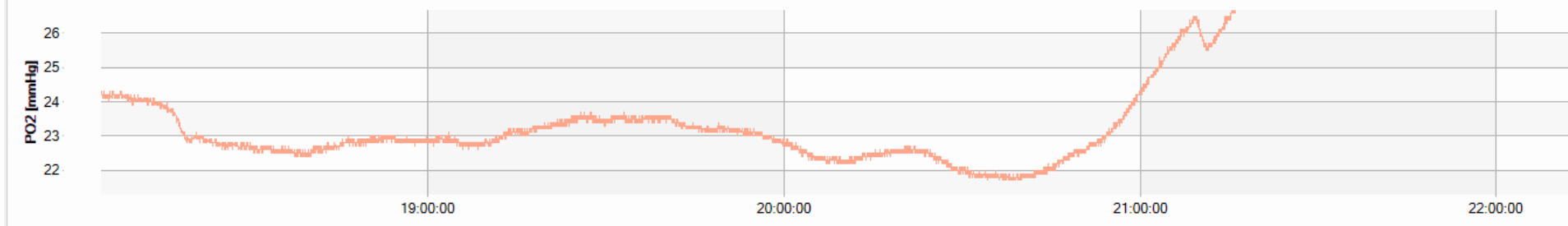
MAP



CPP

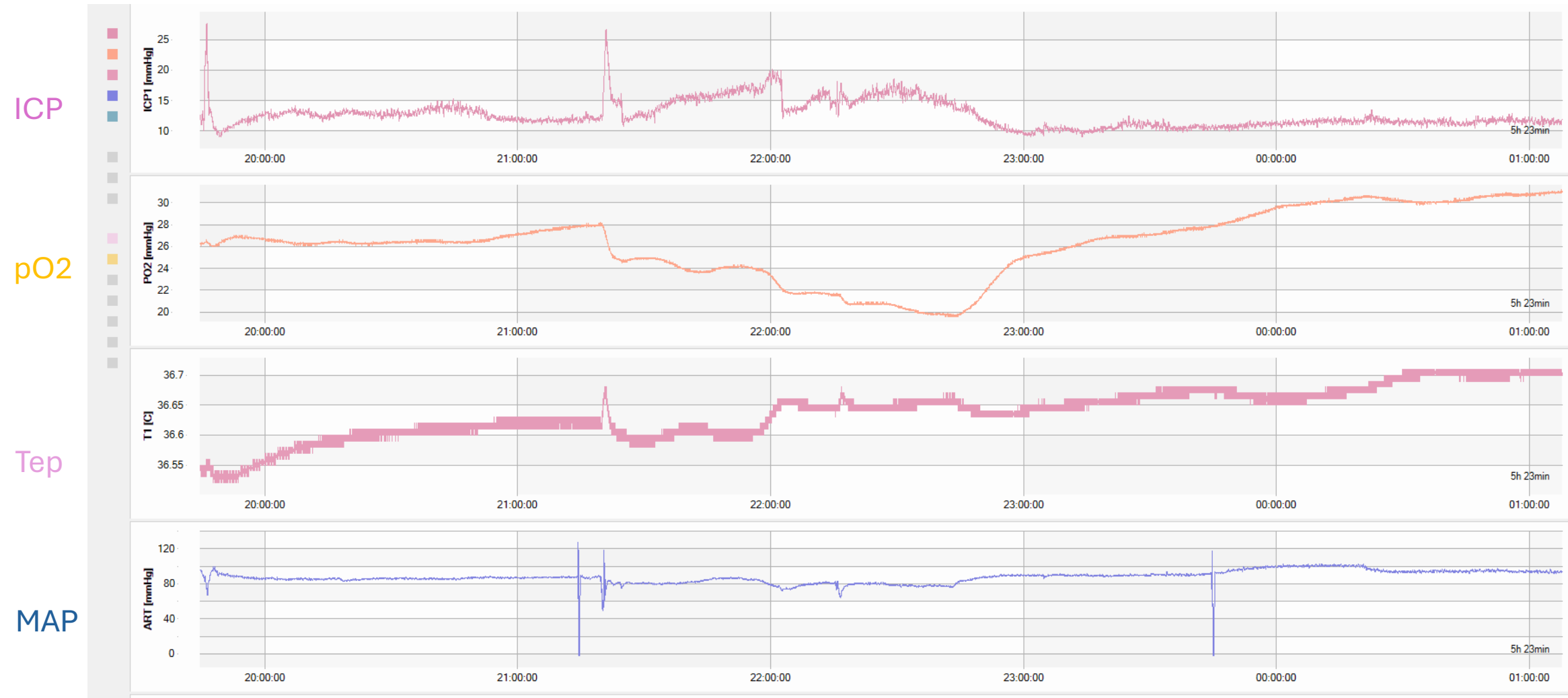


pO2



-pokles PbtO2 – intervencia: **zvýšenie FiO2** na UVP

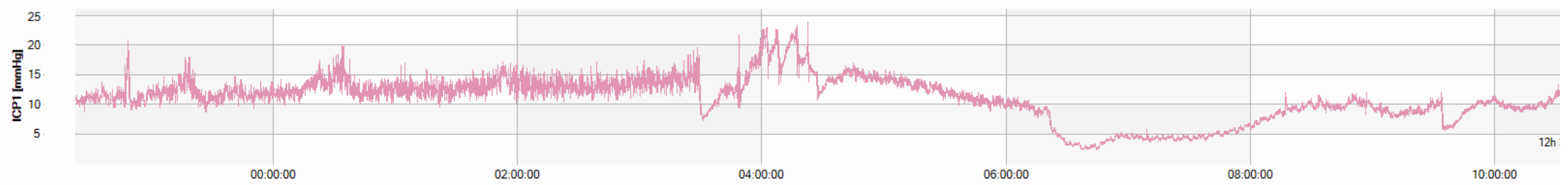
Klinické situácie nášho pacienta



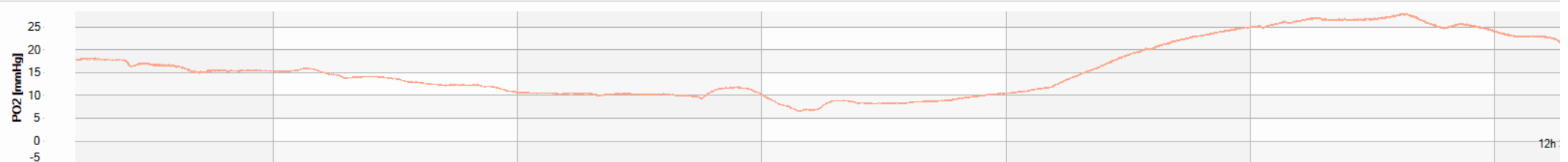
- pokles PbtO2 – intervencia: **zníženie ventilácie** = vzostup pCO2 (z 4,8 na 5,6 kPa)

Klinické situácie nášho pacienta

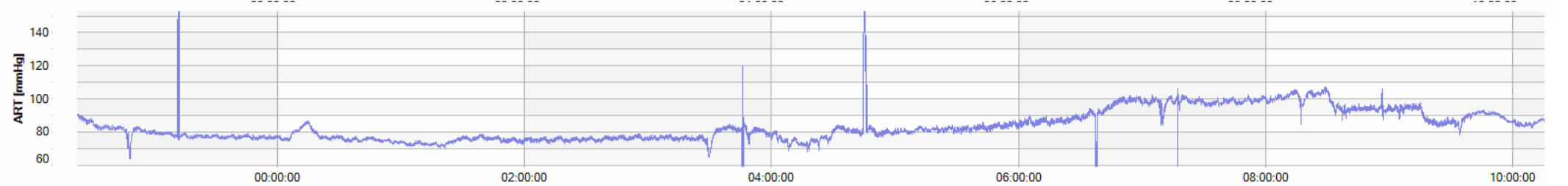
ICP



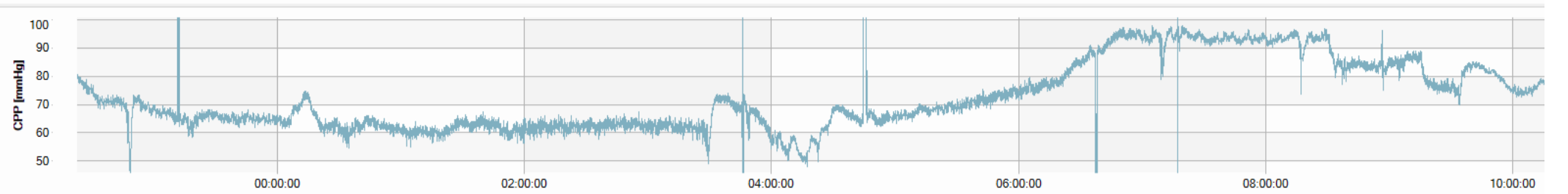
pO2



MAP



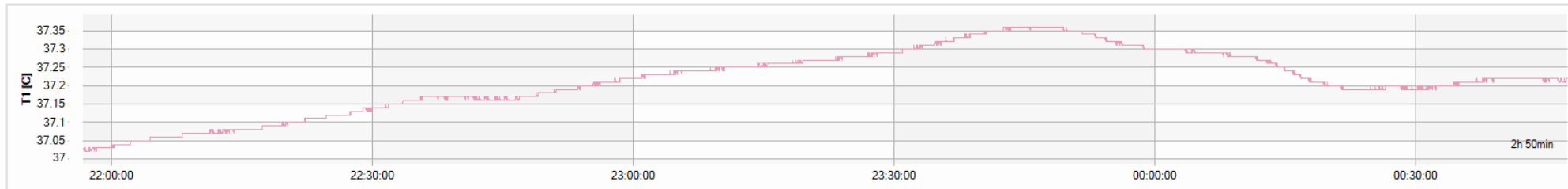
CPP



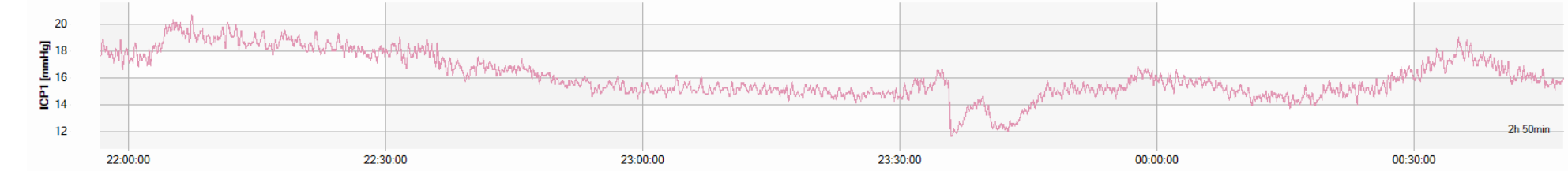
- **Pokles PbtO2** pod 20 mmHg, v.s. pri poklese CPP na 65 mmHg (pre budenie sa pacienta a vzostup ICP navýšená sedácia) – intervencia: **zvyšená vazopresorická podpora Noradrenalínom** = CPP 75-80 mmHg

Klinické situácie nášho pacienta

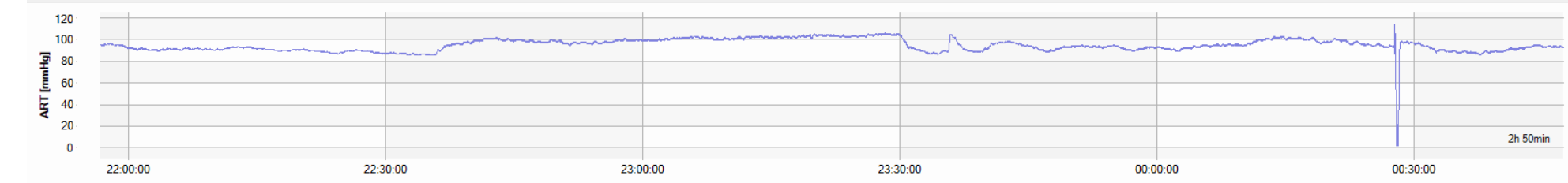
Tep



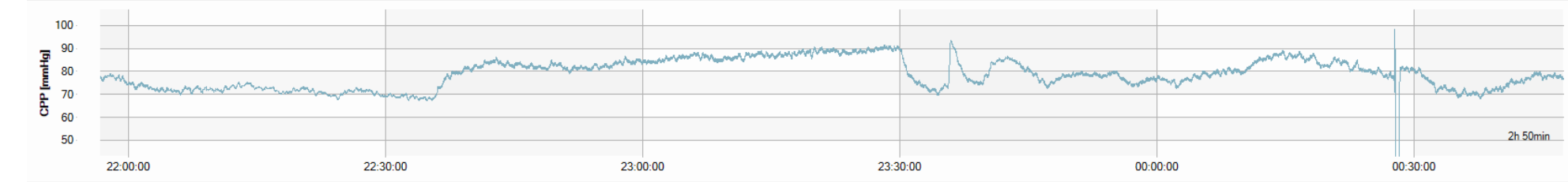
ICP



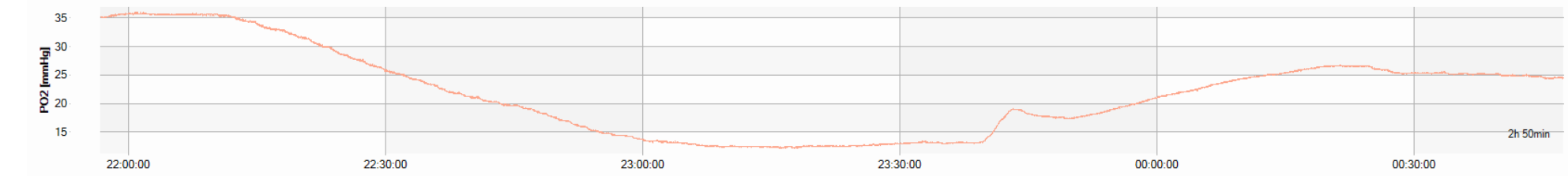
MAP



CPP



pO2



-pokles PbtO2 – intervencia: pre vzostup T mozgu zahájené fyzikálne chladenie

Záver

- Viaceré klinické štúdie ukázali:
 - epizódy mozgovej ischémie a hypoxie sú po TBI bežné napriek normalizácii ICP
 - hypoxia mozgu je spojená so zlým krátkodobým výsledkom pri ťažkej TBI nezávisle od zvýšenej ICP, nízkej CPP a závažnosti poranenia
- Ide teda o zložitejšiu súhru medzi cerebrálnym prietokom krvi (CBF), cerebrálnym metabolizmom, hypoxiou a sekundárnym poškodením
- Hodnoty PbtO₂ nižšie ako 15 mmHg počas viac ako 30 minút sú nezávislým prediktorom nepriaznivého výsledku a smrti
- Monitorovanie PbtO₂ môže hrať významnú úlohu v multimodálnom terapeutickom prístupe k TBI, čo pomáha pri optimalizácii CBF, dodávky kyslíka a metabolizmu mozgu - v konečnom dôsledku zlepšuje výsledky u týchto pacientov
- V súčasnosti prebiehajú dve multicentrické randomizované kontrolované štúdie zamerané na pomoc pri odpovedi na tieto otázky (BOOST III, BONANZA)

Ďakujem za pozornosť

