

Prise en charge du traumatisé crânien grave en soins intensifs

Dr. A. Thooft

CHU Charleroi-Chimay

03.10.2026

Traumatisé crânien (TBI): pathologie fréquente

- Incidence de toute forme de traumatisme crânien:
Par an, en Europe, 2,5 millions de personnes présentent un TBI
- TBI = cause la plus importante de mort chez le jeune adulte
En Europe, 75.000 personnes meurent chaque année d'un TBI
- Causes: accident de roulage, chute, violence

Caractérisation initiale du TBI

Aspect clinique

- Glasgow Coma Scale (GCS)
- Réactivité pupillaire

Aspect biomarqueur

- Mesures sanguines

Aspect imagerie

- Mesures anatomo-pathologiques

Aspect modificateur

- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

Caractérisation initiale du TBI

Aspect modificateur

- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

Injury factors

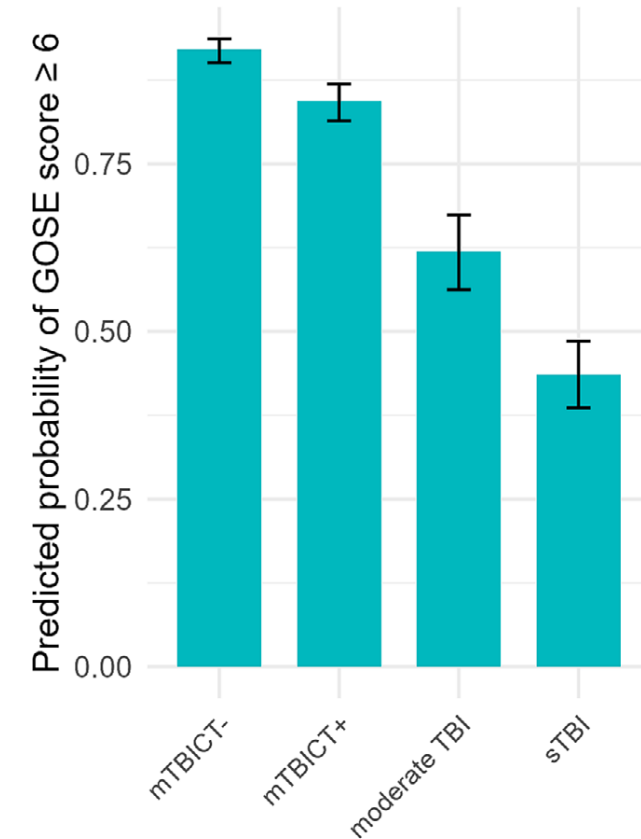
- Mechanism of injury
- Comorbid extracranial injury
- Secondary insults
- Early post-traumatic seizure
- Stressful circumstances

Caractérisation initiale du TBI

Aspect modificateur

- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

Sévérité du traumatisme



Caractérisation initiale du TBI

Aspect modificateur

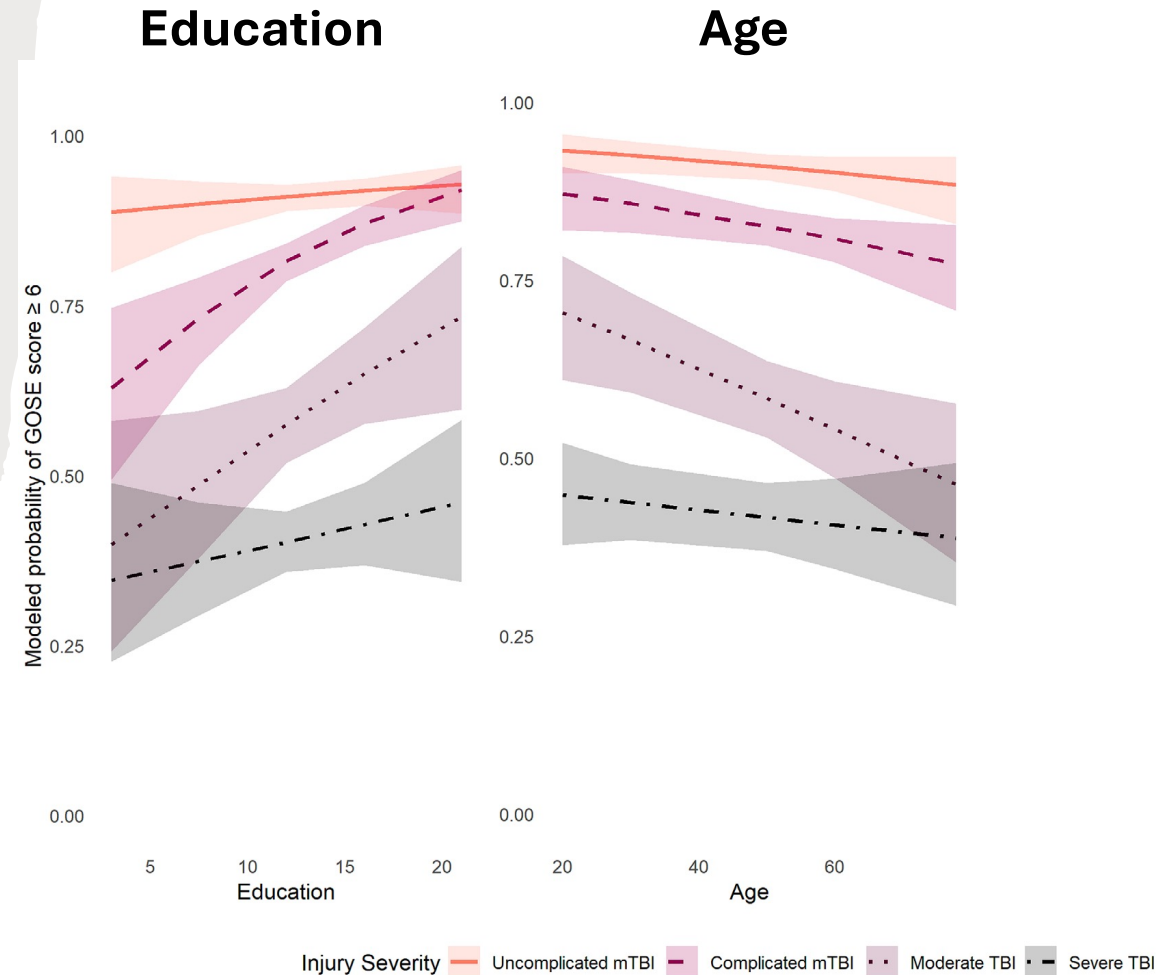
- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

Patient factors	• Age • Sex • Medical history and medication • Mental health condition • Developmental history • TBI history • Language or communication barrier
Community and society factors	• Social disadvantage or deprivation • No or partial health-care insurance

Caractérisation initiale du TBI

Aspect modificateur

- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

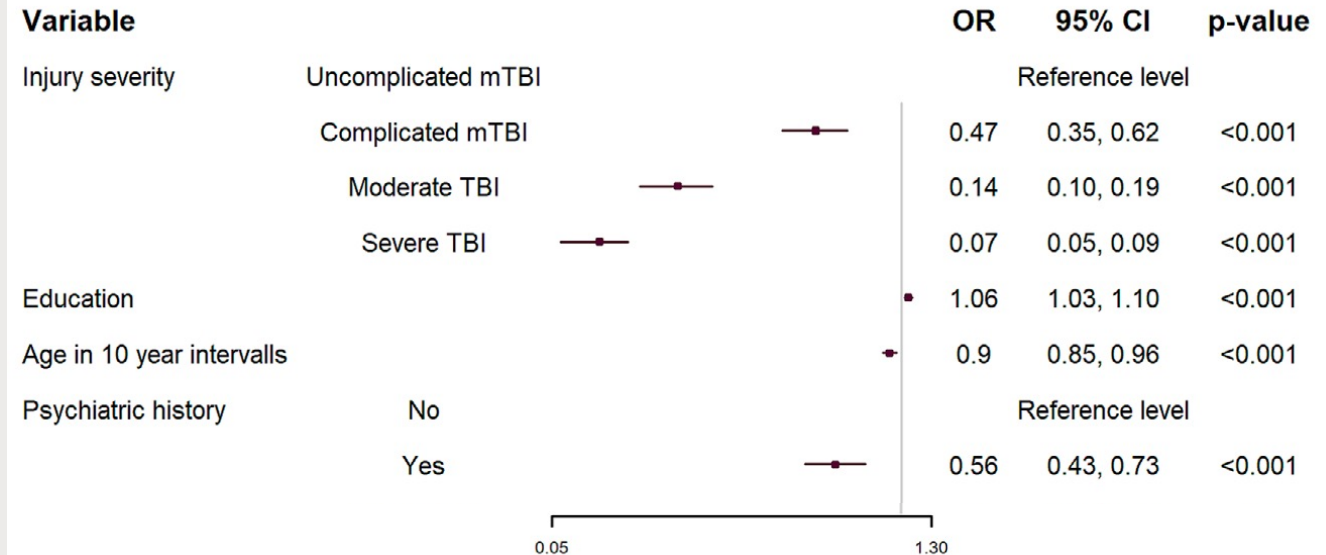


Caractérisation initiale du TBI

Aspect modificateur

- Particularités influençant la présentation clinique et l'outcome

Histoire psychiatrique



Evolution dynamique...

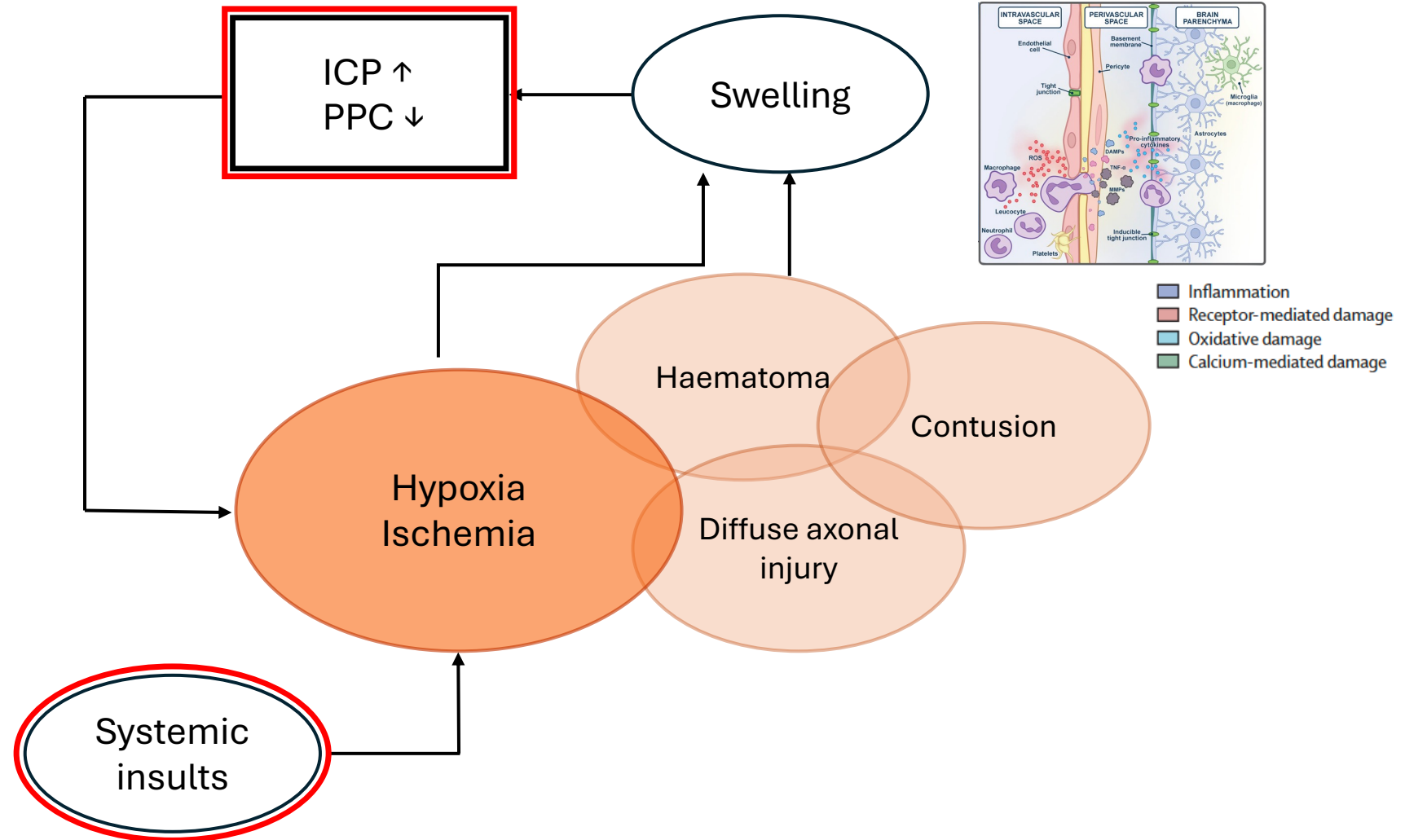
Lésions primaires



Lésions secondaires

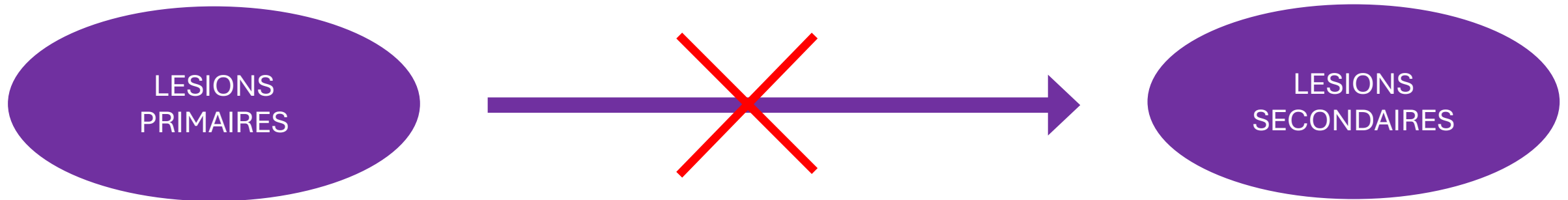


Continuum physiopathologique



Challenge aux soins intensifs

- Minimiser l'aggravation des lésions cérébrales primaires en lésions cérébrales secondaires



Impact d'une prise en charge agressive sur l'outcome?

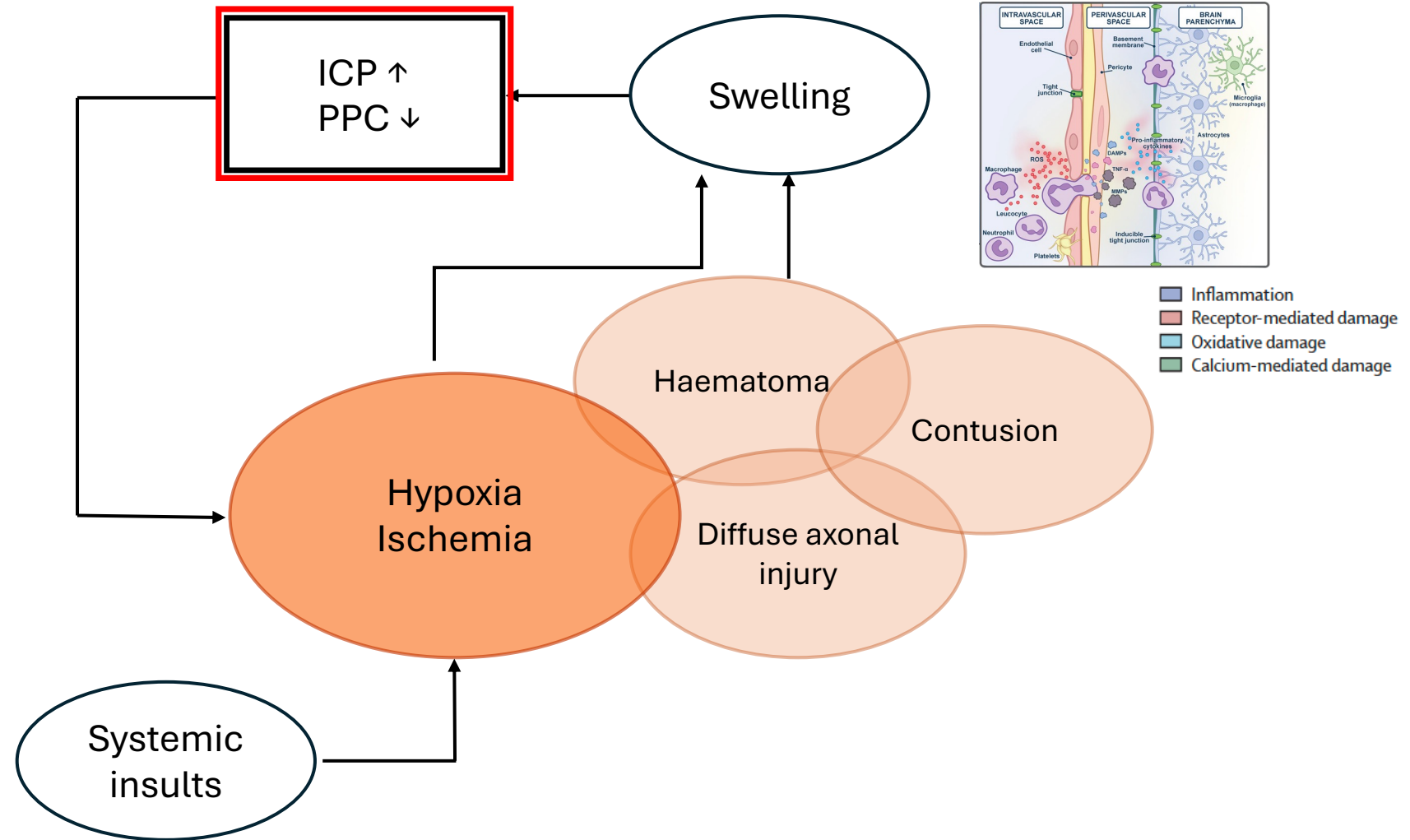
- Comparaison de plusieurs centres avec des intensités différentes de prise en charge

Model	OR (95% CI)	Exp(3.92 $\sqrt{\tau^2}$)
Reference		
Adjusted for probability of favorable outcome	—	1.93
Analysis aggressiveness		
^a ICP monitor in $\geq 50\%$, adjusted for probability favorable outcome	1.73 (1.05–3.15)	1.00
Sensitivity analyses		
^b I: ICP monitor in $\geq 45\%$, adjusted for probability favorable outcome	1.24 (0.73–2.11)	1.71
^b II: TIL2+ in $\geq 50\%$ adjusted for probability favorable outcome	1.24 (0.73–2.11)	1.71
^c III: Acute neurosurgical intervention in $\geq 50\%$ of patients with CT score ≥ 5 (mass lesion) adjusted for probability favorable outcome (160 patients)	0.72 (0.34–1.41)	1.00
^d IV: ICP monitor, acute neurosurgical intervention, and TIL2 in $\geq 50\%$, adjusted for probability favorable outcome	2.11 (1.12–3.99)	1.00

TIL2 = therapy intensity level 2 (vasopressors for CPP, osmotic therapy, hyperventilation, CBF drainage, hypothermia, barbiturates, neurosurgical intervention)

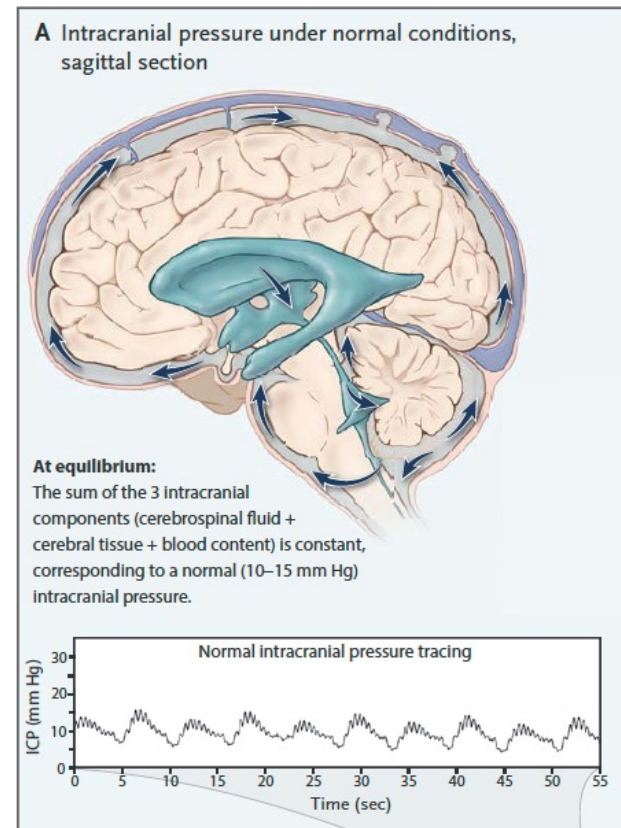
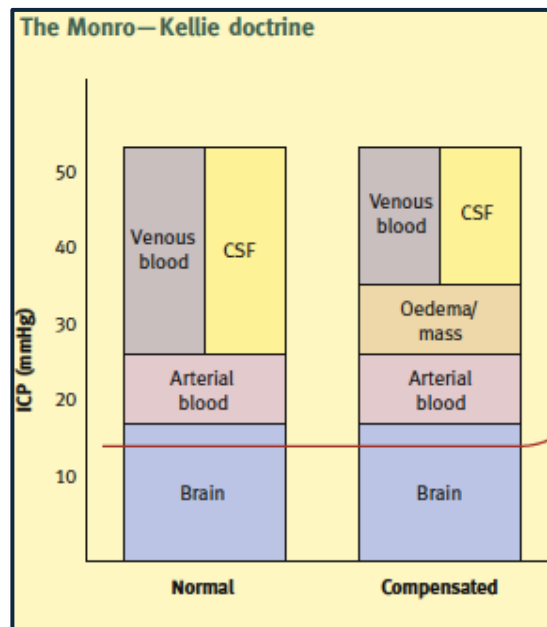
→ Après ajustement, les patients monitorés et traités agressivement ont un outcome plus favorable que ceux avec un traitement moins agressif.

Continuum physiopathologique



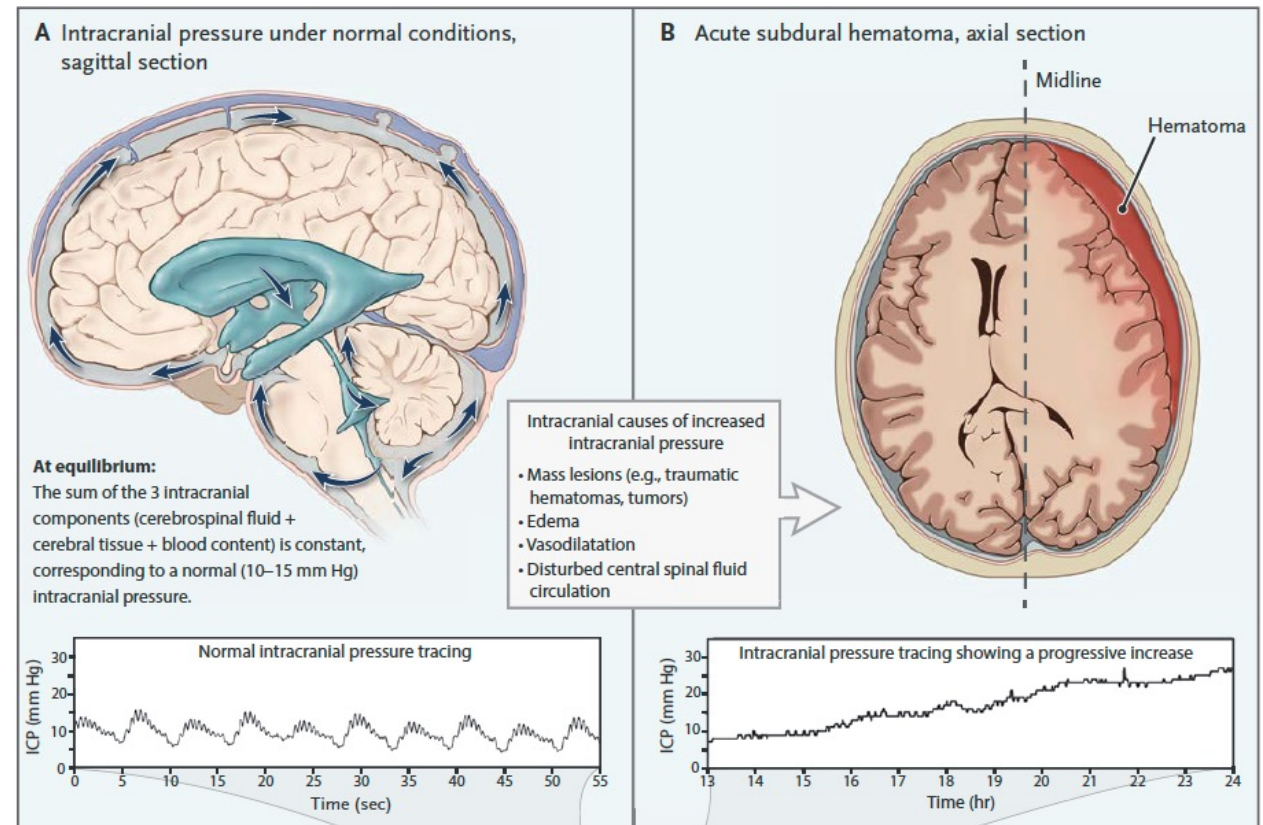
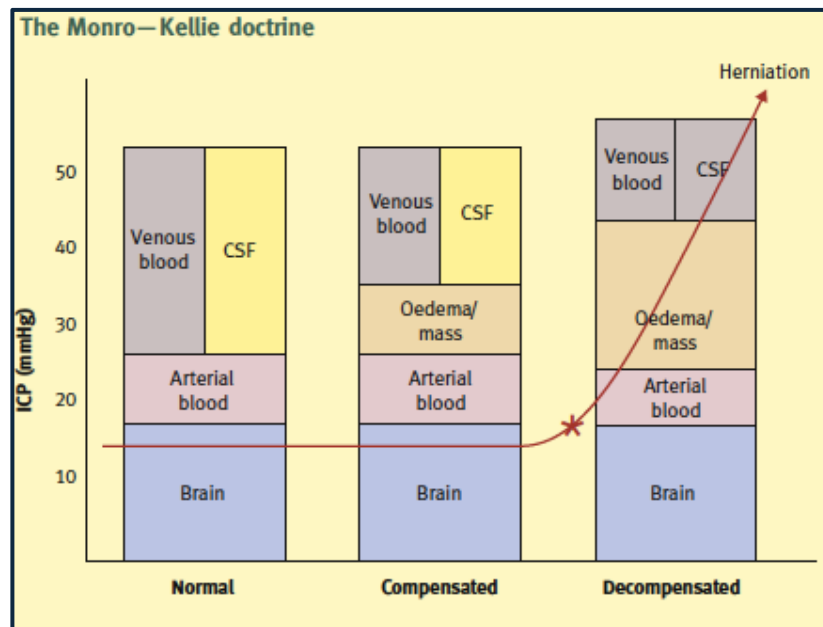
Hypertension intra-crânienne (HTIC)

- PIC normale chez adulte $< 15\text{mmHg}$



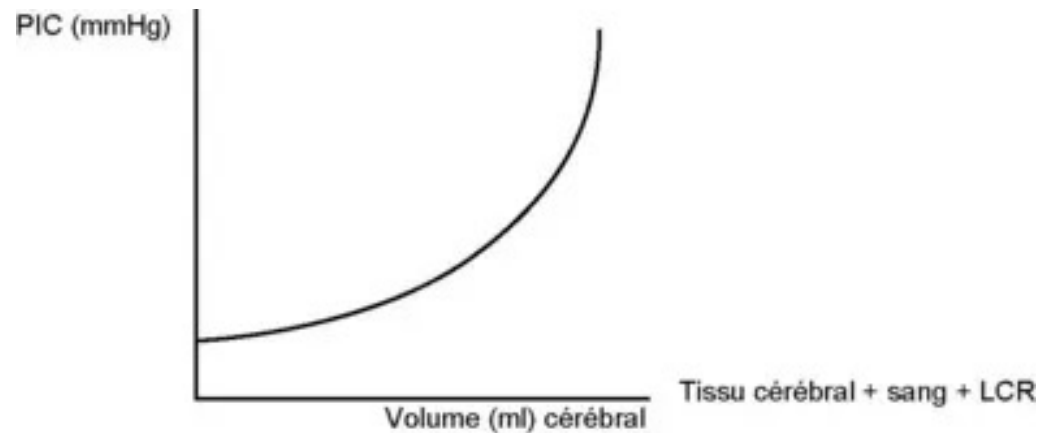
Hypertension intra-crânienne

- PIC pathologique si $> 20\text{mmHg}$

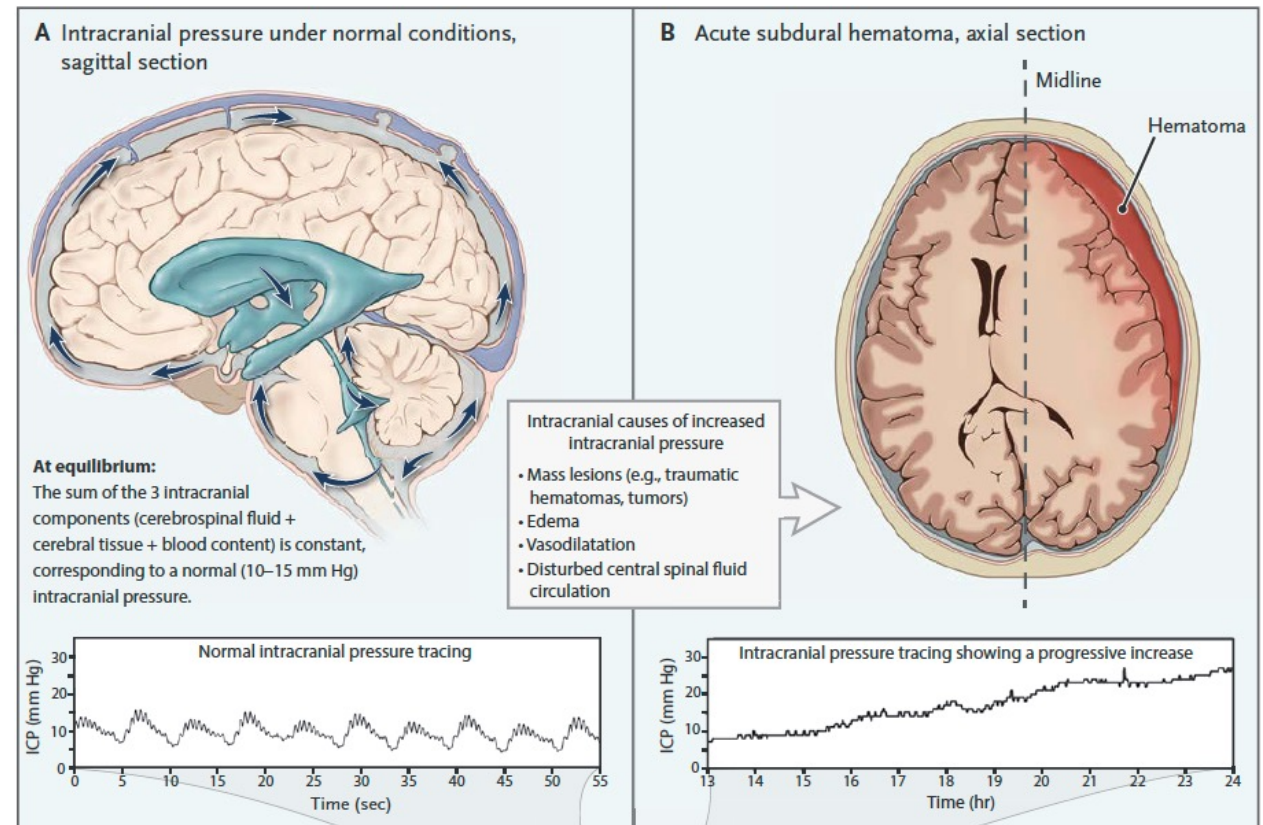


Hypertension intra-crânienne

- PIC pathologique si $> 20\text{mmHg}$

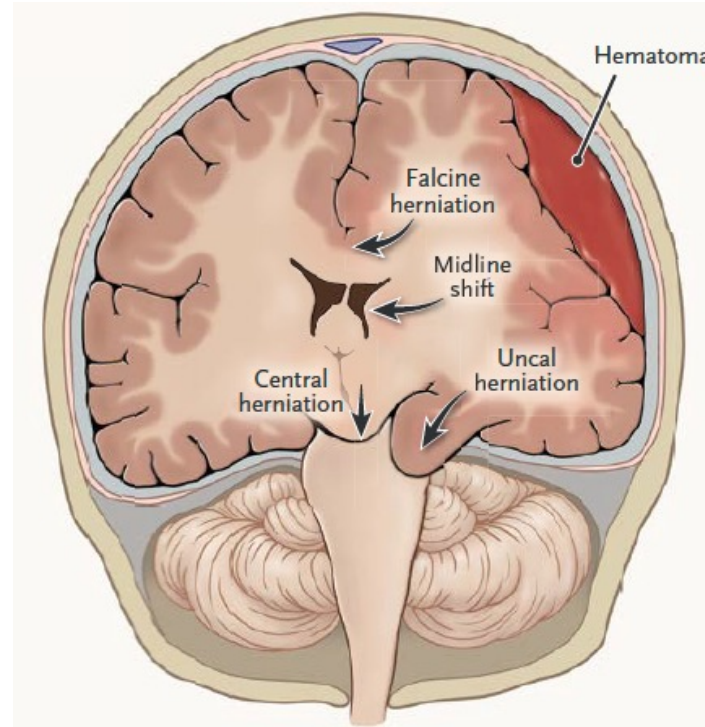


Relation non linéaire de la courbe de Pr/Vol cérébral



Hypertension intra-crânienne: complication

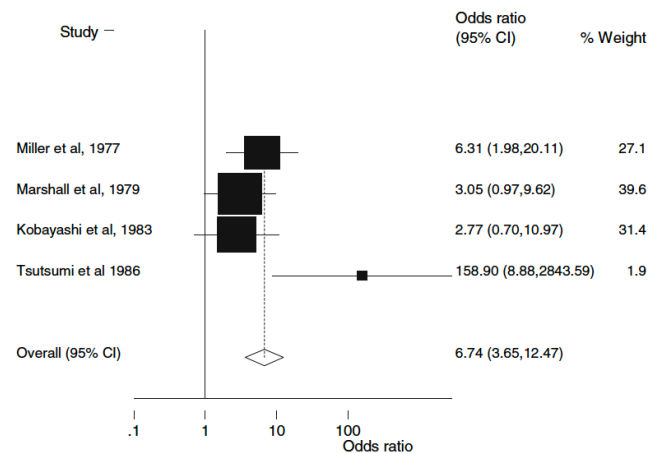
- Différents engagements possibles → mort



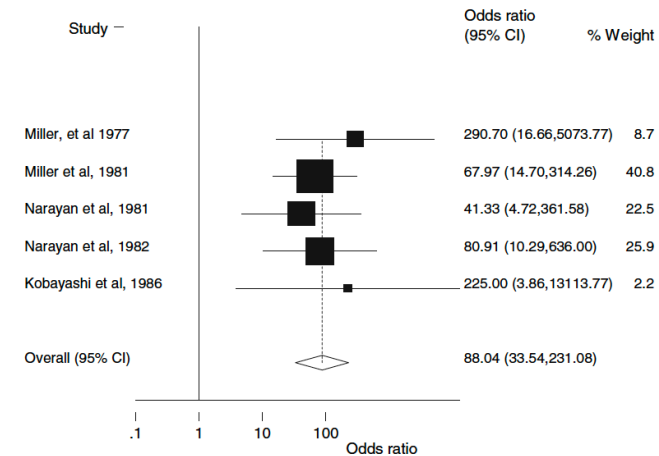
PIC et outcome

- Augmentation de la probabilité de mort vs tout autre outcome en cas d'HTIC

PIC > 40mmHg et réductible vs PIC < 20mmHg



PIC réfractaire vs PIC < 20mmHg



PIC et outcome

Table 5 Odds ratios and 95% confidence intervals [95% CI] of neurological outcomes at 1 year, comparing intracranial pressure (ICP) patterns (Glasgow Outcome Score: GR, Good Recovery; MD, Moderate Disability; SD, Severe Disability; V, Vegetative; D, Death)

	SD/V versus GR/MD	D versus GR/MD	D versus all other outcomes
Normal ICP ^a	1.0	1.0	1.0
Raised but reducible ICP	4.0 [2.27, 7.04] ^b	2.8 [1.80, 4.31] ^b	2.2 [1.42, 3.30] ^b
Refractory ICP	6.9 [1.13, 42.83] ^b	100.3 [34.31, 293.02] ^b	88.0 [33.54, 231.06] ^b

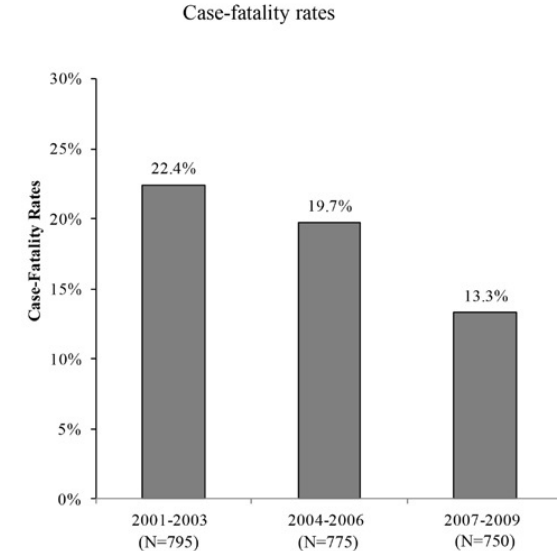
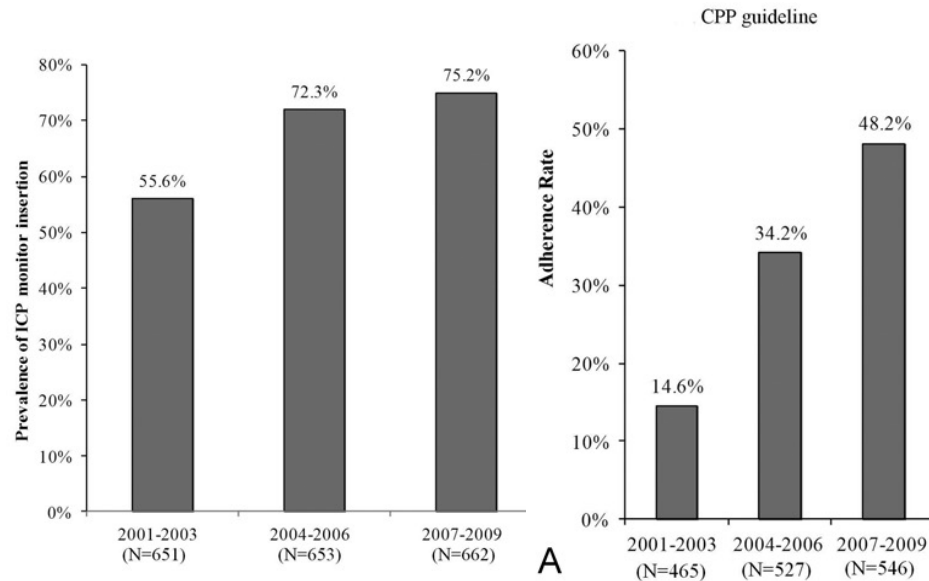
^a ICP <20 mmHg: reference category for all comparisons

^b $P < 0.01$

- La probabilité de mort à 1 an en comparaison à un outcome favorable
 - ↗ chez les patients avec une PIC élevée et réductible
 - ↗↗↗ chez les patients avec une PIC réfractaire
- **PIC élevée est un prédicteur d'outcome défavorable**

Importance du monitoring de la PIC

- Impact de l'adhérence aux guidelines de Brain Trauma Foundation sur la mortalité à 2 semaines?



↗ de la compliance aux guidelines



↘ significative de la mortalité

PIC et outcome

- Association entre le monitoring de PIC - la mortalité et l'outcome à 6 mois?

	6 month mortality*		Unfavourable outcome at 6 months (GOSE <5)†	
	Deaths (n)	Hazard ratio (95% CI)	Events (n)	Odds ratio (95% CI)
Pupils both reactive	428	1.02 (0.78-1.34)	683	1.34 (1.11-1.63)
At least one unreactive pupil	408	0.35 (0.26-0.47)	518	0.38 (0.26-0.56)
Sensitivity analyses‡				
Pupils both reactive	398	0.93 (0.72-1.20)	633	1.51 (1.24-1.85)
At least one unreactive pupil	185	0.35 (0.23-0.52)	233	0.85 (0.48-1.45)
Patients with TBI				
Pupils both reactive	192	1.27 (0.87-1.85)	311	1.67 (1.27-2.20)
At least one unreactive pupil	184	0.31 (0.20-0.47)	249	0.53 (0.30-0.93)

- Pour les patients avec au moins 1 pupille aréactive utilisation d'un monitoring de PIC est associé à
- une diminution de la mortalité à 6 mois
 - une **amélioration de l'outcome neurologique à 6 mois**

Importance du monitoring de la PIC

Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition

Topic	Recommendations
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.
Intracranial pressure thresholds	Level IIB • Treating ICP >22 mm Hg is recommended because values above this level are associated with increased mortality.

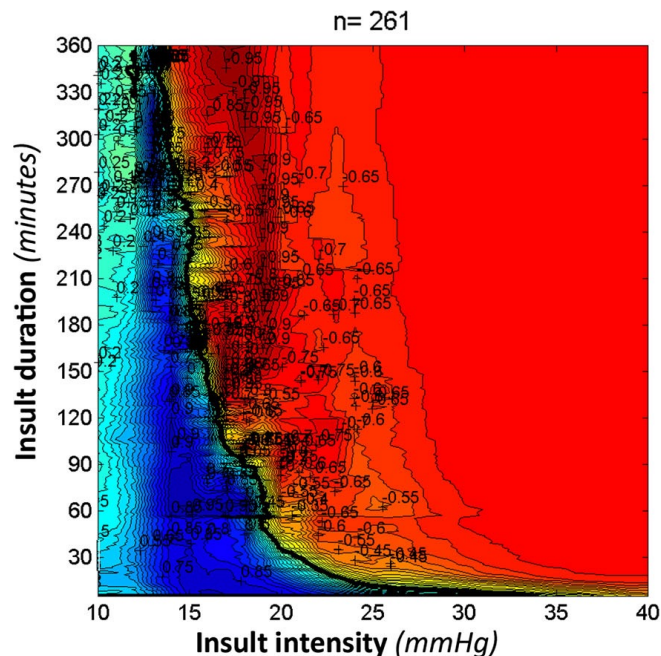


PIC – seuil unique?

Seuil de PIC ?

- **Effet dose/charge** de la PIC

- Analyse de la relation entre les épisodes d'élévation de PIC (durée et intensité) et l'outcome neurologique à 6 mois



■ Meilleur GOS à 6 mois

■ Moins bon GOS à 6 mois

Courbe de transition entre les 2 zones est exponentielle

Seuil de PIC ?

- Fonction de
 - l'âge: 55 ans → 18 vs 22 mmHg

Table 1 Thresholds for ICP in mmHg

	<i>n</i>	Threshold for survival	Sensitivity (%) Specificity (%)	Threshold for favorable outcome	Sensitivity (%) Specificity (%)
All patients	459	22 (58.18, $P < 0.001$)	63 82	22 (18.15, $P < 0.001$)	81 48
>55 years	77	21 (5.60, $P = 0.018$)	75 62	18 (5.14, $P = 0.023$)	90 36
≤55 years	382	23 (58.56, $P < 0.001$)	66 85	22 (15.78, $P < 0.001$)	78 52

Seuil de PIC?

- Fonction de
 - l'âge
 - la **tolérance individuelle**
 - la **pression de perfusion cérébrale**
 - ...

Traitement de l'hypertension intracrânienne (HTIC)

- BUT → préservation d'une perfusion cérébrale adéquate (PPC)

$$PPC = PAM - PIC$$

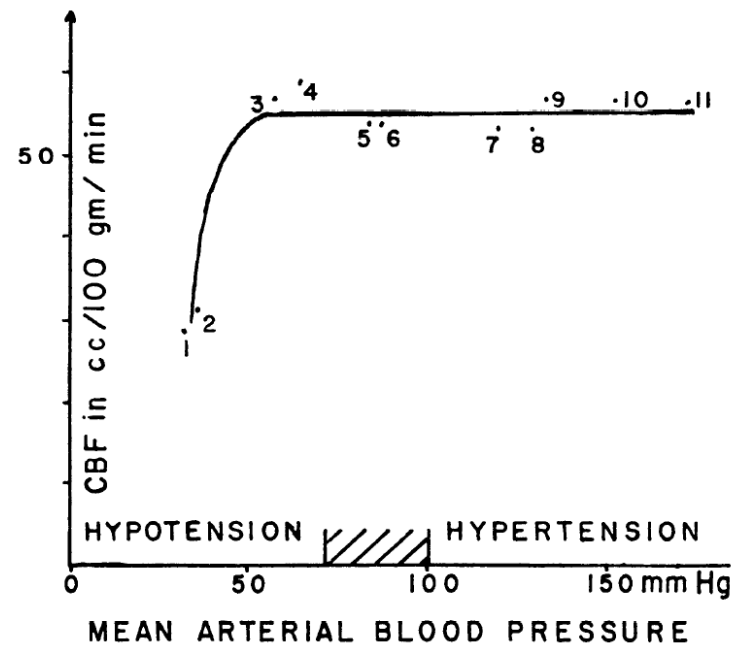
Pression artérielle et pression de perfusion cérébrale

Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition

Topic		Recommendations
Blood pressure thresholds	Level III	
		• Maintaining SBP at ≥ 100 mm Hg for patients 50 to 69 years old or at ≥ 110 mm Hg or above for patients 15 to 49 or >70 years old may be considered to decrease mortality and improve outcomes.
Cerebral perfusion pressure thresholds	Level IIB	
		• The recommended target CPP value for survival and favorable outcomes is between 60 and 70 mm Hg. Whether 60 or 70 mm Hg is the minimum optimal CPP threshold is unclear and may depend upon the autoregulatory status of the patient.
	Level III	
		• Avoiding aggressive attempts to maintain CPP >70 mm Hg with fluids and pressors may be considered because of the risk of adult respiratory failure.

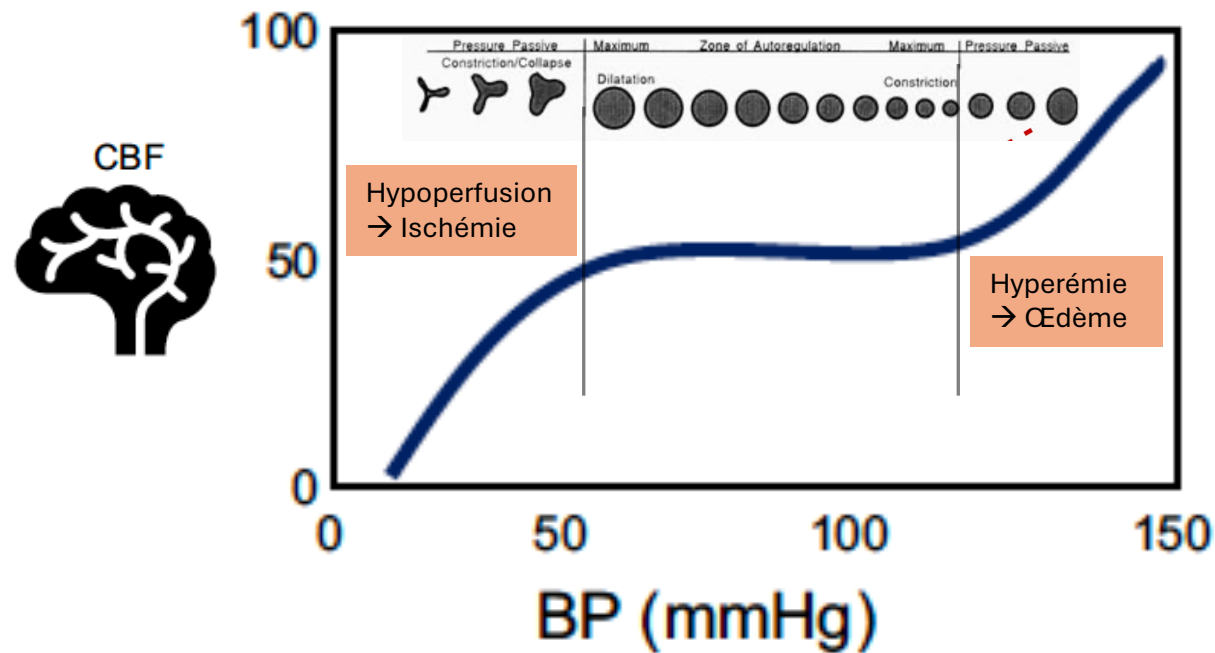
Pression artérielle

- En situation normale
 - Constance du flux sanguin cérébrale malgré des variations de PA



Pression artérielle

- Pour maintenir le flux sanguin cérébral constant, des mécanismes de vaso-dilatation / vaso-constriction vont se produire pour des PA correspondant à la zone d'autorégulation
- Dans des valeurs extrêmes de PA, le flux sanguin cérébral est directement corrélé à la PA



Niveau cible de PPC

- Plus on passe de temps au-dessus d'une PPC minimum de 50mmHg
→ meilleure est la survie

CPP Thresholds	Survivors (n = 1,681)	Nonsurvivors (n = 379)	Relative Risk (95% CI)	p ^a
≥ 18 yr old				
n	1,410	333		
CPP-H events ^b	701 (84.0)	134 (16.1)	Reference	
CPP-B events ^c	562 (83.6)	110 (16.4)	1.02 (0.81, 1.28)	0.87
CPP-L events ^d	147 (62.3)	89 (37.7)	2.35 (1.88, 2.95)	< 0.0001

Niveau cible de PPC

Comparaison de 2 stratégies de PPC (> 50mmHg vs > 70mmHg)

Recovery	All Patients (Closed and Penetrating)			Only Closed Injuries		
	CBF-Targeted (%)	ICP-Targeted (%)	<i>p</i> Value	CBF-Targeted (%)	ICP-Targeted (%)	<i>p</i> Value
Three-month scores			.554			.406
Good recovery/moderate disability	29 (31.9)	30 (37.0)		29 (33.3)	27 (38.0)	
Severe disability	28 (30.8)	27 (33.3)		26 (29.9)	25 (35.2)	
Vegetative/dead	34 (37.4)	24 (29.6)		32 (36.8)	19 (26.8)	
Six-month scores			.491			.565
Good recovery/moderate disability	33 (39.8)	35 (49.3)		32 (40.5)	32 (50.8)	
Severe disability	20 (24.1)	14 (19.7)		19 (24.1)	14 (22.2)	
Vegetative/dead	30 (36.1)	22 (31.0)		28 (35.4)	17 (27.0)	

CBF, cerebral blood flow; ICP, intracranial pressure.

- Pas de différence d'outcome neurologique à 3 et 6 mois
- 5 x plus de complication respiratoire dans le groupe > 70mmHg

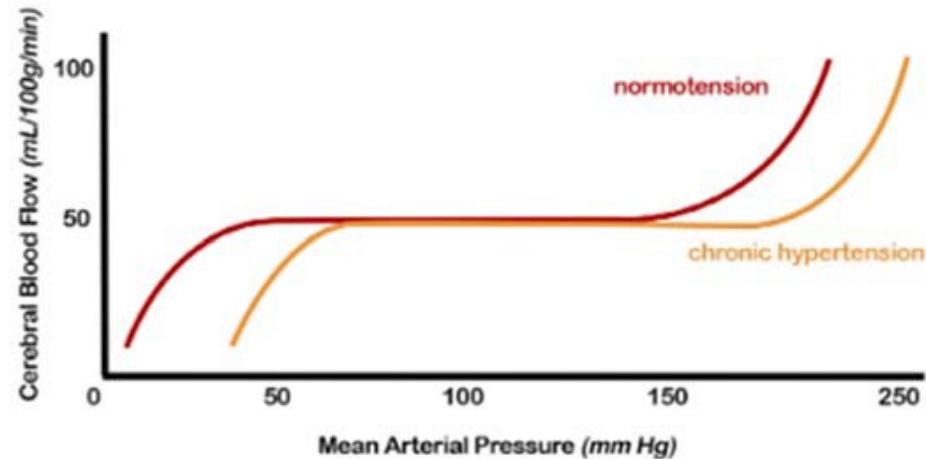
Seuil de PPC ?

- Pas un seuil unique...
- Fonction de
 - l'âge: 55 ans → viser une PPC plus élevée

	<i>n</i>	Threshold for survival	Sensitivity (%) Specificity (%)	Threshold for favorable outcome	Sensitivity (%) Specificity (%)
All patients	459	70 (24.78, $P < 0.001$)	79 53	70 (8.79, $P = 0.003$)	47 76
> 55 years	77	75 (3.94, $P = 0.047$)	62 67	NS	NS
≤ 55 years	382	70 (31.98, $P < 0.001$)	84 52	70 (10.69, $P = 0.001$)	51 75

Seuil de PPC ?

- Pas un seuil unique...
- Fonction de
 - une **HTA pré-existante**



Déplacement de la courbe d'autorégulation vers la droite



Et l'autorégulation?...

Autorégulation

- Capacité du muscle vasculaire lisse à répondre à un changement de pression trans-mural
- Mécanisme clé → régulation du flux sanguin cérébral

Evaluation de la préservation de l'autorégulation

- Test d'autorégulation

- Pendant quelques minutes, $\uparrow$ de PA $\rightarrow$ $\uparrow$ de PPC et $\downarrow$ de PIC si préservée

- PRx (réactivité de pression cérébro-vasculaire)

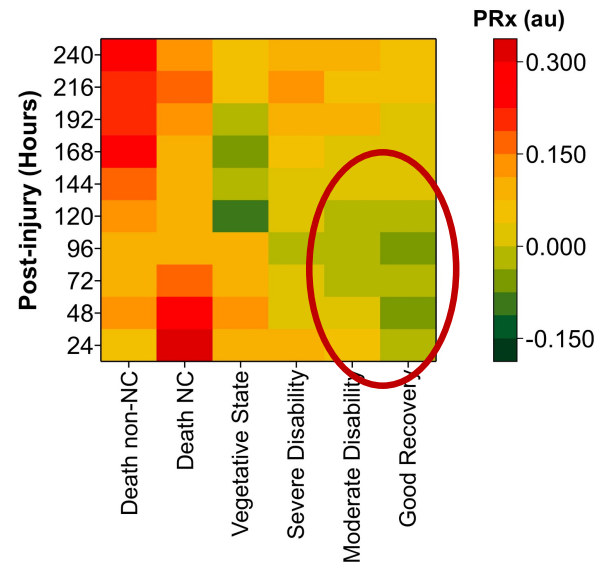
- Toutes les quelques secondes, une variation de la PA entrainera une variation inverse de la PIC par vaso-réactivité si préservée
- -1 – 0: réactivité vasculaire normale
- > 0 : vaisseaux passifs, non réactifs

- Doppler trans-crânien

- Mesure des vélocités sanguines pendant des variations de PA

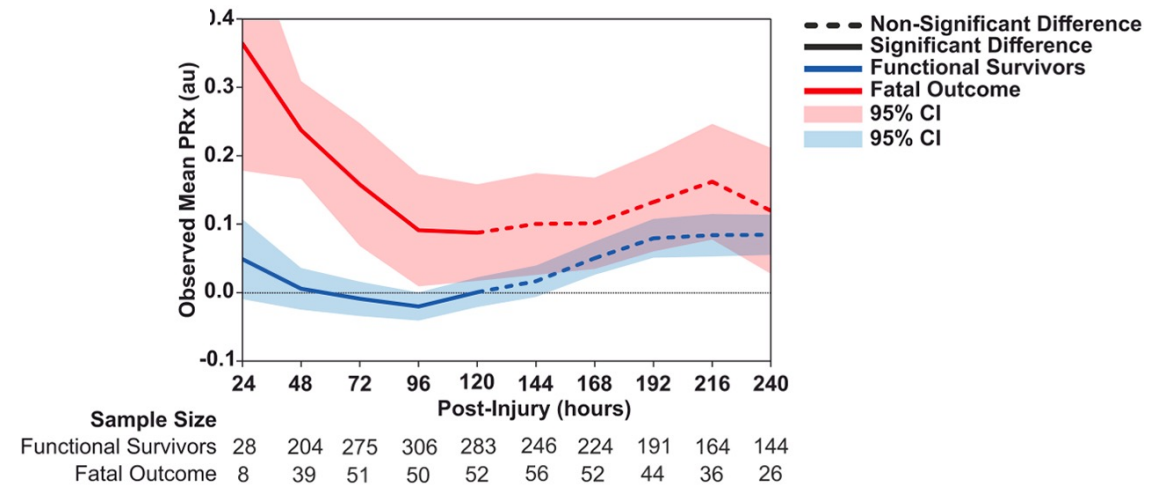
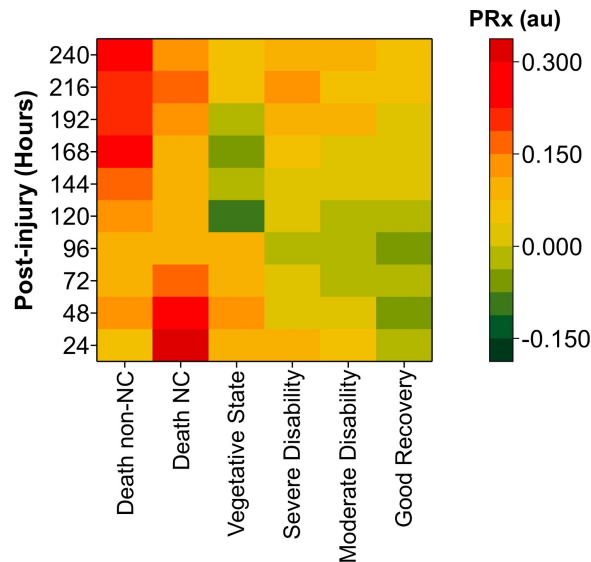
Autorégulation: importance et variation

- Préservation de l'autorégulation semble liée à l'outcome
 - L'autorégulation préservée est préférentiellement présente dans le groupe à bon outcome neurologique



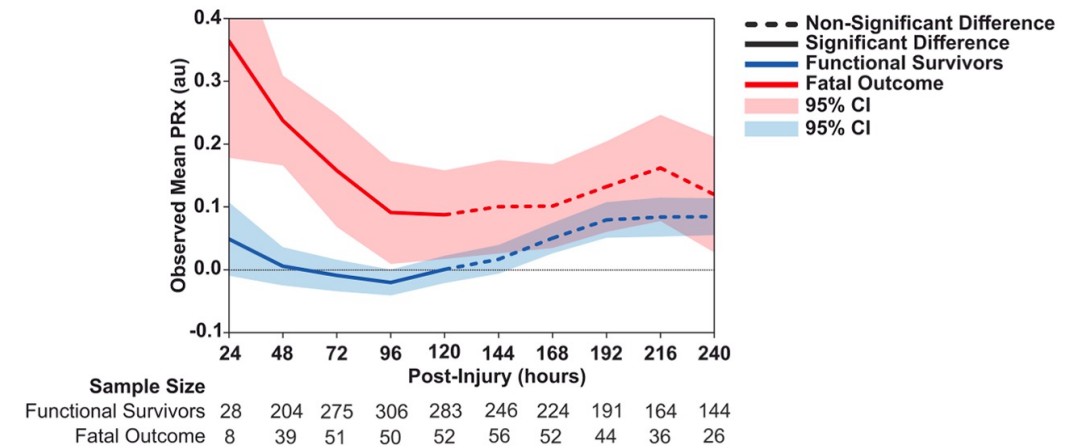
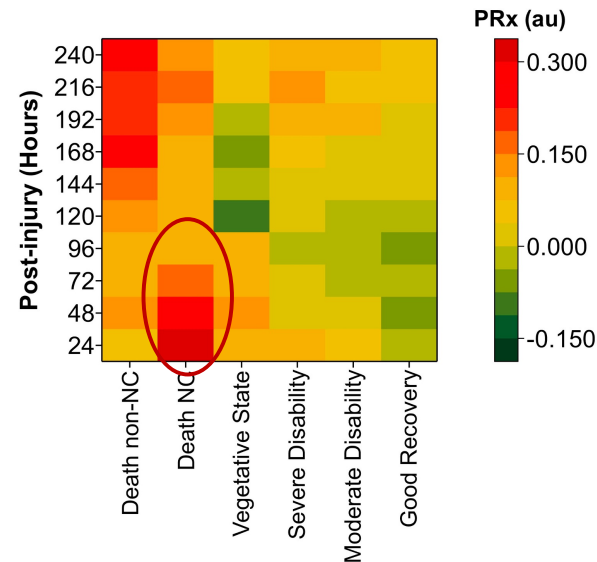
Autorégulation: importance et variation

- L'intégrité de l'autorégulation est un phénomène dynamique
 - L'autorégulation évolue dans le temps



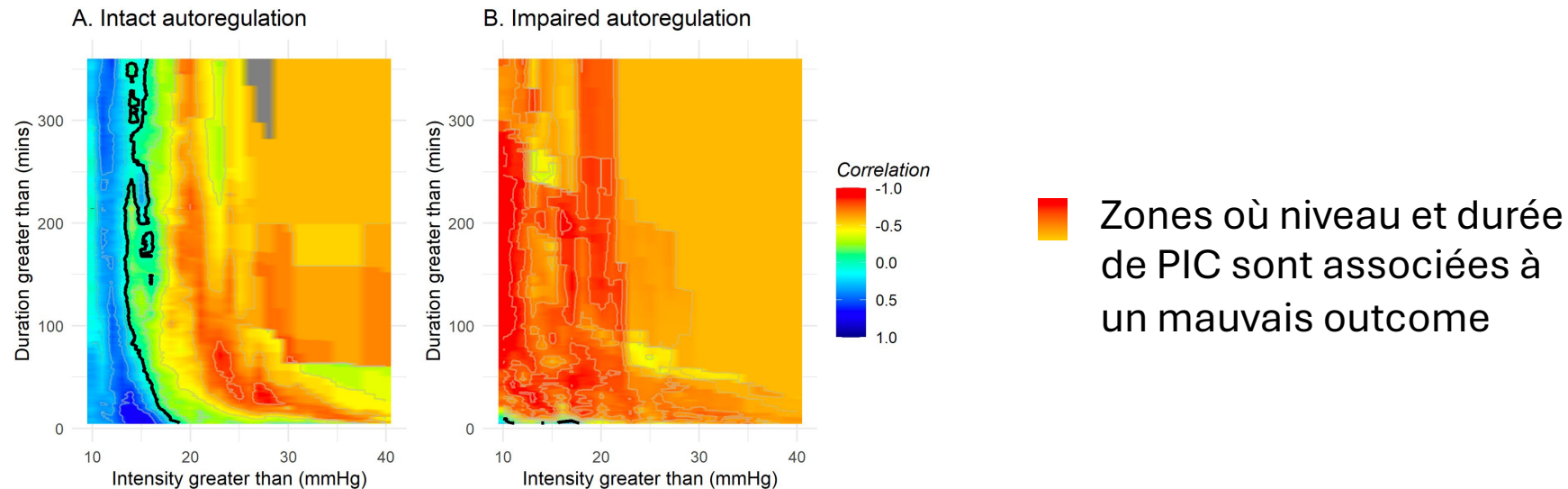
Autorégulation: importance et variation

- En cas de mortalité liée à une cause neurologique, l'autorégulation est altérée précocement



Autorégulation et seuil de PIC ?

- La tolérance de la PIC est fonction de la préservation de l'autorégulation



En cas d'autorégulation altérée, pas de seuil identifiable de durée et d'intensité de PIC tolérable

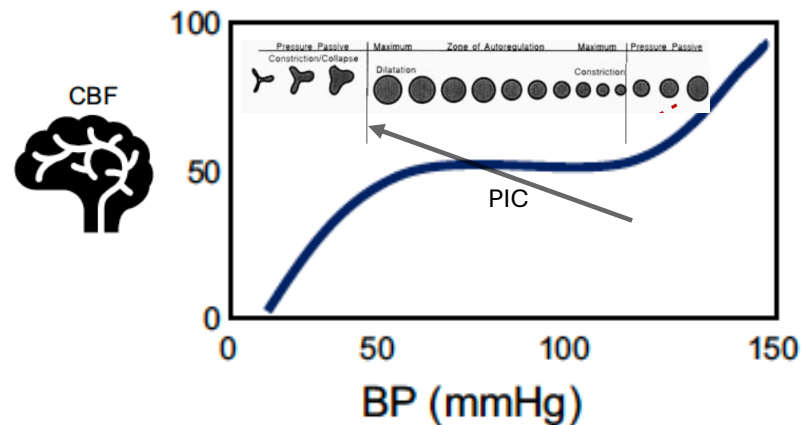
Autorégulation et seuil de PA ?

- **Si autorégulation préservée:**

↓ de PA → vasodilatation

→ ↑ du volume de sang cérébral

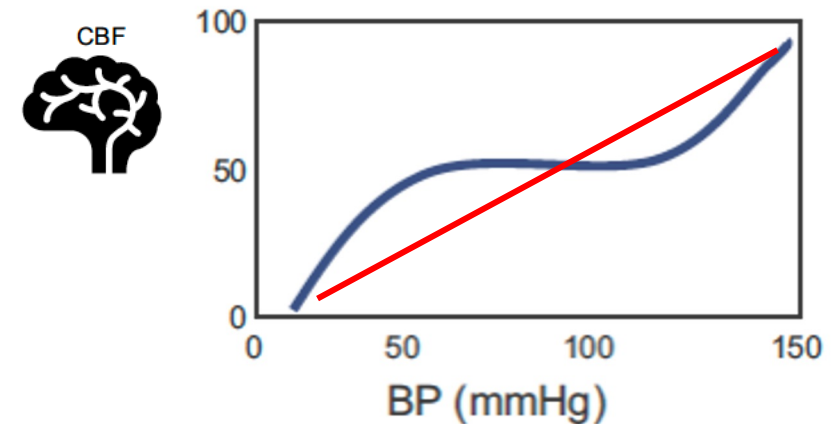
→ ↑ de PIC



- **Si autorégulation altérée:**

↓ de PA → ↓ flux sanguin cérébral

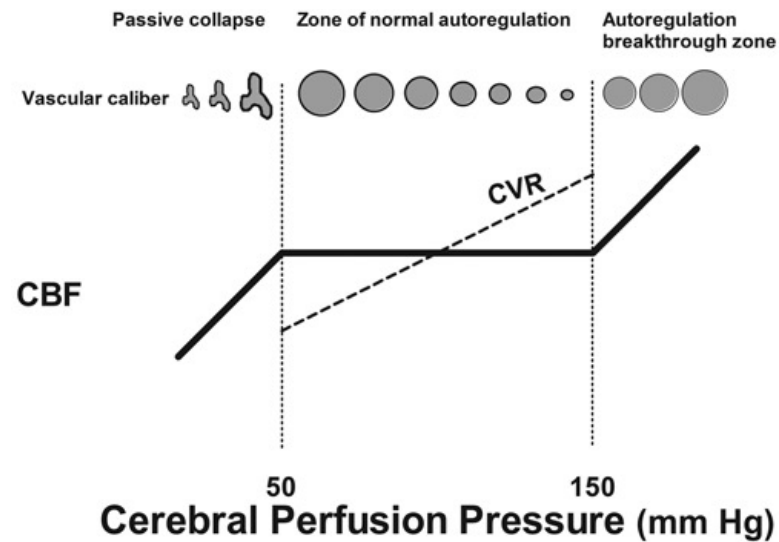
→ ischémie



Autorégulation et seuil de PPC ?

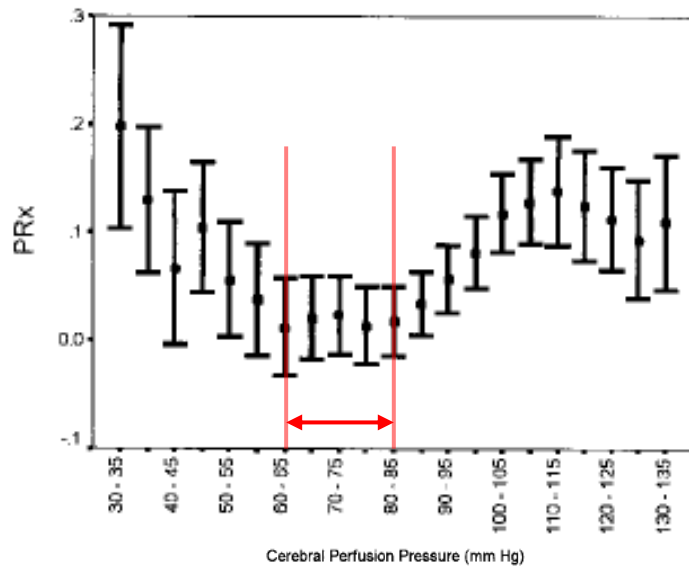
- La PPC est liée de l'autorégulation

$$PPC = FSC \times RVC$$



Autorégulation et seuil de PPC ?

- La PPC optimale est fonction de l'autorégulation

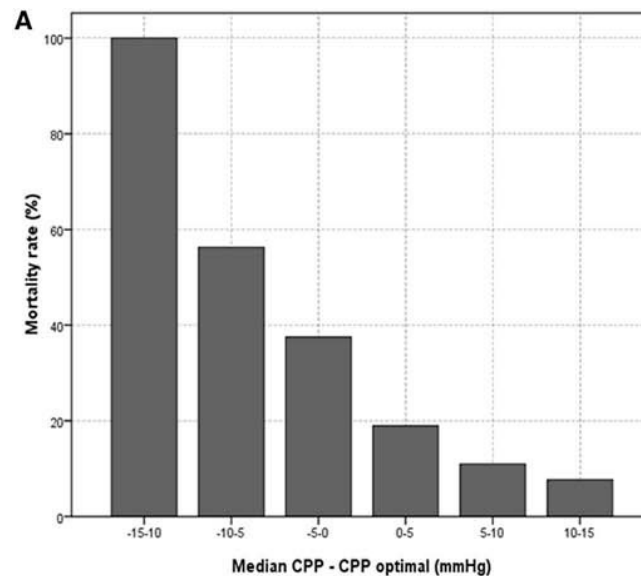
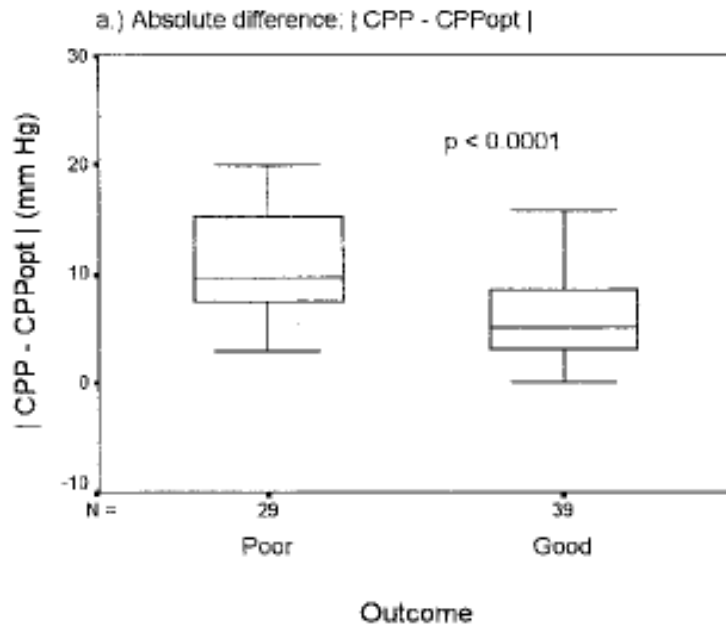


Vasoréactivité cérébrale

- change en fonction du niveau de PPC
- semble diminuer quand PPC < 60mmHg et > 85mmHg

Autorégulation et seuil de PPC ?

- La PPC optimale est donc variable
- La gestion de la PPC a un impact sur le pronostic

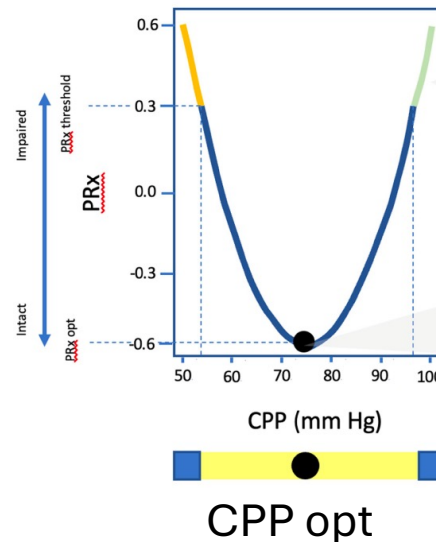


CPP trop basse ou trop haute
par rapport à la CPP opt
a un impact négatif sur

- l'outcome
- la mortalité

Autorégulation et seuil de PPC ?

- La PPC optimale est donc variable
- COGITATE Trial
 - Proposition de guider la gestion de la PPC vers la PPC opt où l'autorégulation est la plus active



Autorégulation: importance et variation

- La préservation ou non de l'autorégulation a un impact sur la tolérance de la PIC et de la PPC...
- Intérêt d'individualiser la gestion de la PIC et de la PPC

Management de la PIC: Recommandations SIBICC

CONFERENCE REPORTS AND EXPERT PANEL

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



- Consensus d'experts
- Algorithme de gestion du TBI basé sur la PIC
- Management en étapes

Management de la PIC: Recommandations SIBICC

Tier Zero (Basic Severe TBI Care - Not ICP Dependent)

Expected Interventions:

- Admission to ICU
- Endotracheal intubation and mechanical ventilation
- Serial evaluations of neurological status and pupillary reactivity
- Elevate HOB 30-45°
- Analgesia to manage signs of pain (not ICP directed)
- Sedation to prevent agitation, ventilator asynchrony, etc. (not ICP directed)
- Temperature management to prevent fever
 - Measure core temperature*
 - Treat core temperature above 38°C*
- Consider anti-seizure medications for 1w only (in the absence of an indication to continue)
- Maintain CPP initially ≥ 60 mmHg
- Maintain Hb > 7 g/dL
- Avoid hyponatremia
- Optimize venous return from head (eg. keeping head midline, ensure cervical collars are not too tight)
- Arterial line continuous blood pressure monitoring
- Maintain SpO₂ $\geq 94\%$

Recommended Interventions:

- Insertion of a central line
- End-tidal CO₂ monitoring

Management de la PIC: Recommandations SIBICC

Tier 1

- Maintain CPP 60–70 mmHg
- Increase analgesia to lower ICP
- Increase sedation to lower ICP
- Maintain $P_a\text{CO}_2$ at low end of normal (35–38 mmHg/4.7–5.1 kPa)
- Mannitol by intermittent bolus (0.25–1.0 g/kg)
- Hypertonic saline by intermittent bolus*
- CSF drainage if EVD *in situ*
- Consider placement of EVD to drain CSF if parenchymal probe used initially
- Consider anti-seizure prophylaxis for 1 week only (unless indication to continue)
- Consider EEG monitoring

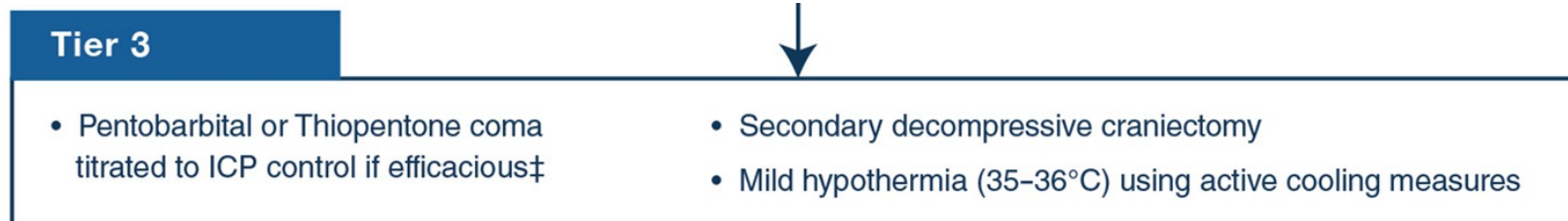
Management de la PIC: Recommandations SIBICC

Tier 2



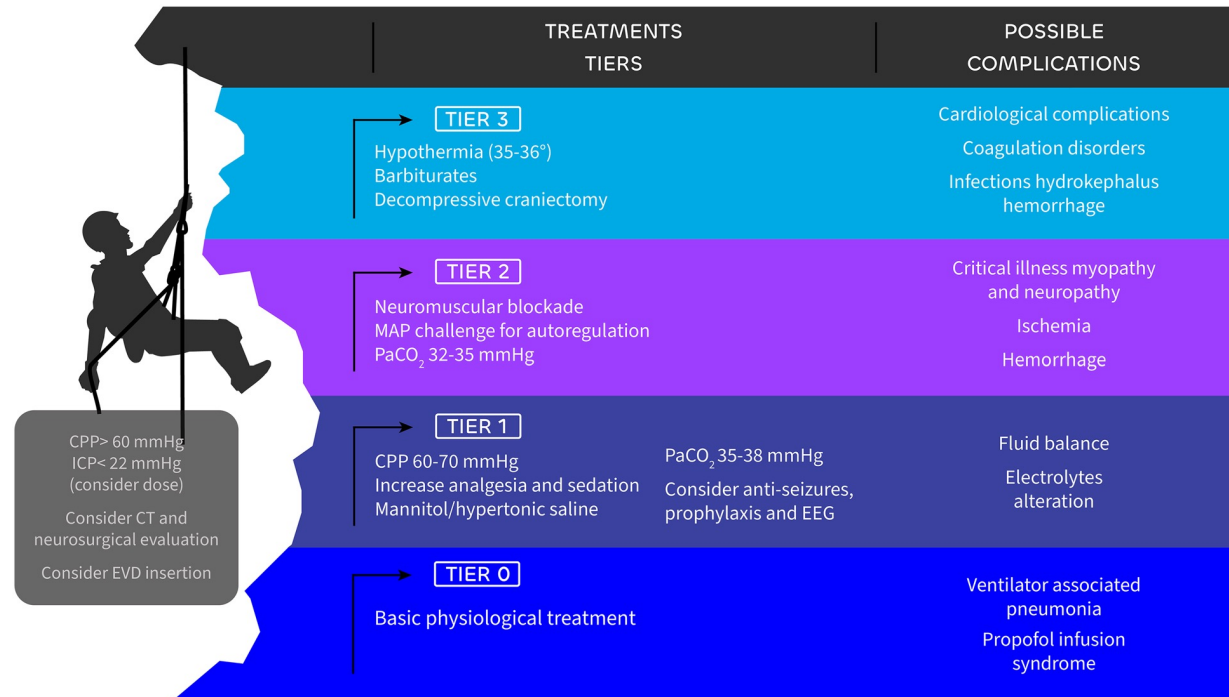
- Mild hypocapnia range 32–35 mmHg/4.3–4.6 kPa)
- Neuromuscular paralysis in adequately sedated patients if efficacious**
- **Perform MAP Challenge to assess cerebral autoregulation and guide MAP and CPP goals in individual patients†**
 - *Should be performed under direct supervision of a physician who can assess response and ensure safety*
 - *No other therapeutic adjustments (ie. sedation) should be performed during the MAP Challenge*
 - *Initiate or titrate a vasopressor or inotrope to increase MAP by 10 mmHg for not more than 20 minutes*
 - *Monitor and record key parameters (MAP, CPP, ICP and $P_{bt}O_2$) before during and after the challenge*
 - *Adjust vasopressor/inotrope dose based on study findings*
- Raise CPP with fluid boluses, vasopressors and/or inotropes to lower ICP when autoregulation is intact

Management de la PIC: Recommandations SIBICC



Management de l'HTIC

- Séquence spécifique avec escalade progressive dans l'agressivité
- Tenir compte des risques/bénéfices de chaque traitement!



Gestion du TBI se limite-t-elle à la gestion de la PIC/PPC?

- Quid de l'oxygénation cérébrale...

Hypoxie cérébrale

- Hypoxie cérébrale possible, même si PIC contrôlée et PPC préservée

	Patients With ICP > 20 mm Hg	Patients With ICP 0 – 20 mm Hg
Patients with $Pbto_2 < 15$ mm Hg (n = 55)	43	12
Patients with $Pbto_2 \geq 15$ mm Hg (n = 47)	31	16
Total (n = 102)	74	28

	Patients With CPP < 60 mm Hg	Patients With CPP ≥ 60 mm Hg
Patients with $Pbto_2 < 15$ mm Hg (n = 55)	46	9
Patients with $Pbto_2 \geq 15$ mm Hg (n = 47)	29	18
Total (n = 102)	75	27

Hypoxie cérébrale est présente dans:

- 43% des patients avec PIC normale
- 33% des patients avec PPC normale

La gestion de la PIC et de la PPC ne sont pas suffisantes pour garantir l'oxygénation cérébrale

Gestion du TBI se limite-t-elle à la gestion de la PIC/PPC?

- Quid de l'oxygénation cérébrale...
- L'oxygénation cérébrale n'est pas garantie par la gestion seule de la PIC et de la PPC

Hypoxie cérébrale

- La présence d'une hypoxie cérébrale péjore le pronostic neurologique

	Patients With Favorable Outcome, n (%)	
	Intracranial Hypertension (n = 74)	Low CPP (n = 75)
Brain hypoxia	20/43 (46)	18/46 (39)
No brain hypoxia	25/31 (81)	24/29 (83)
<i>P</i>	< .01	< .01

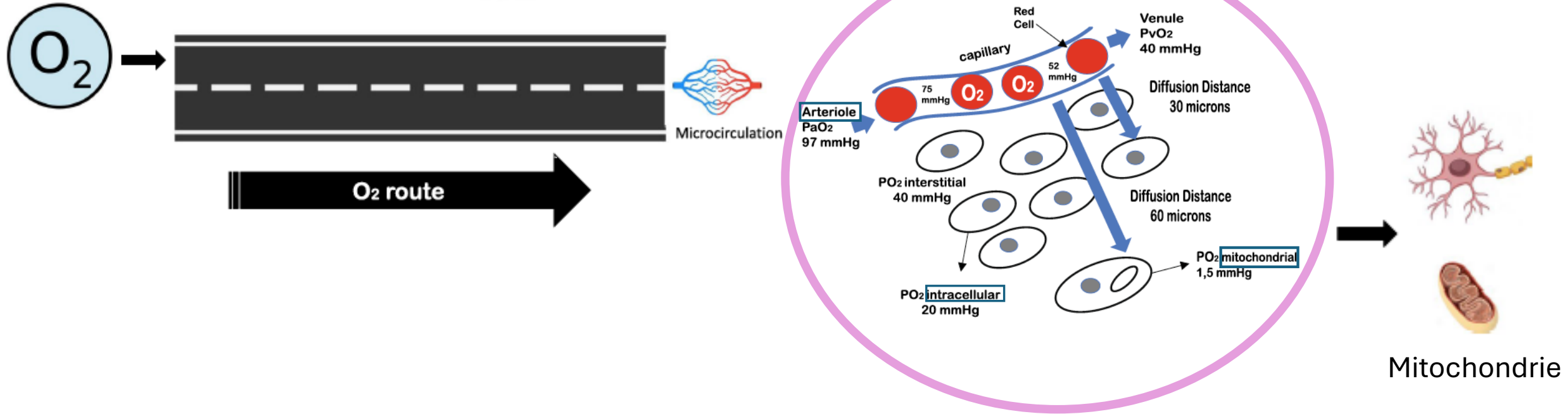
Il y a significativement moins de patients avec outcome favorable si présence d'une hypoxie cérébrale en plus de l'HTIC ou d'une PPC basse.

Gestion du TBI se limite-t-elle à la gestion de la PIC/PPC?

- Quid de l'oxygénation cérébrale...
- L'oxygénation cérébrale n'est pas garantie par la gestion seule de la PIC et de la PPC
- L'hypoxie cérébrale préjore le pronostic

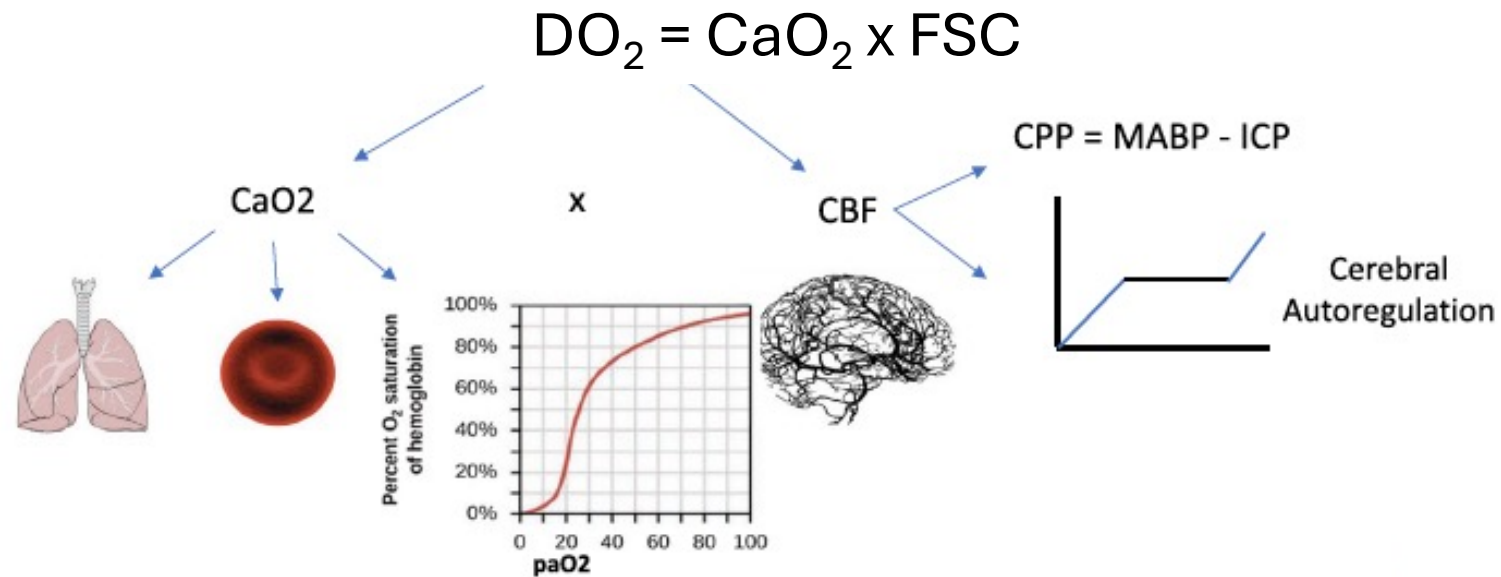
Trajet de l'oxygène

Oxygène inhalé



Oxygénation cérébrale

- Est dépendante de :
 - Systèmes: respiratoire - cardiovasculaire – hématologique



Oxygénation cérébrale

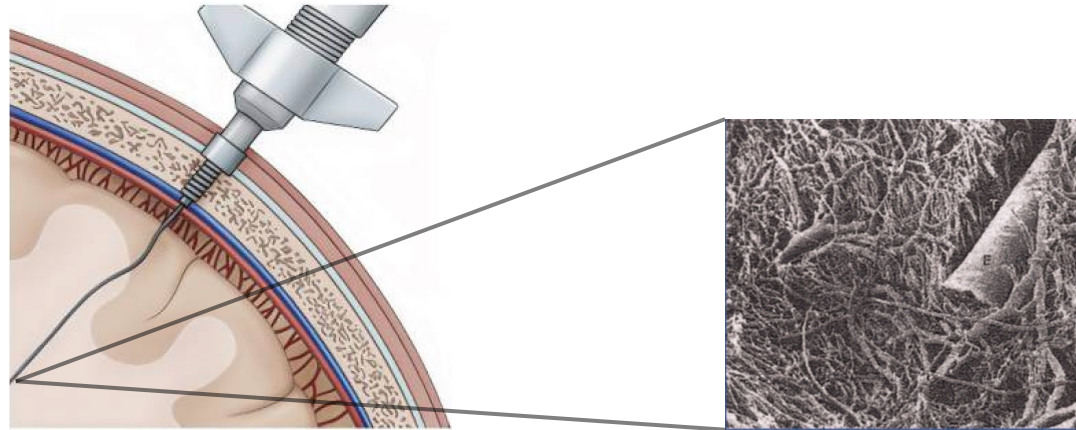
- Est dépendante de :
 - Systèmes: respiratoire - cardiovasculaire – hématologique

$$DO_2 = CaO_2 \times FSC$$

- L'utilisation tissulaire de l'oxygène est aussi dépendante de:
 - Microcirculation
 - Œdème tissulaire
 - Fonction mitochondriale

Possibilité de monitorer l'oxygénation cérébrale

- Cathéter de mesure de P_{btO_2}



- Sonde dans le parenchyme cérébral
- Mesure de la pression partielle en O_2 dans le tissu cérébral autour de la sonde ($7-15\text{mm}^3$)

Causes d'hypoxie cérébrale

	CBF	PtiO ₂	LPR	OEF	Pathophysiology
Ischemic	↓	↓	↑	↑	Inadequate CBF
Low extraction	≈	↓	↑	≈	Low arterial partial pressure of oxygen, PaO ₂ (hypoxemic hypoxia) Low hemoglobin concentration (anemic hypoxia) Low half-saturation pressure P50 (high-affinity hypoxia)
Shunt	↑	≈	↑	↓	Arteriovenous shunting (microvascular shunt)
Diffusion	≈	≈	↑	↓	Diffusion barrier (intracellular or interstitial edema)
Uncoupling	≈	≈	↑	↓	Mitochondrial dysfunction
Hypermetabolic	↑	↓	↑	↑	Increased demand

- PbtO₂ basse:
 - Débit sanguin cérébral (**DSC**) bas
 - Contenu artériel en O₂ (**Hb** ou **PaO₂**) bas
 - **Diffusion de O₂** basse
 - **Dysfonction mitochondriale**

Management de la PIC et de l'oxygénation cérébrale: Recommandations SIBICC

CONFERENCE REPORTS AND EXPERT PANEL

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



- Consensus d'experts
- Algorithme de gestion du TBI basé sur la PIC et sur la PbtO₂

Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist

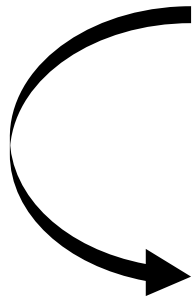


- Le management du trauma crânien évolue

approche dogmatique sur la PIC



approche multimodale



changements physiopathologiques sont détectés et traités

Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist



- Le management du trauma crânien évolue
 - Les seuils cibles varient selon l'âge, les comorbidités, l'autorégulation, ...
 - Proposition d'autres cibles physiologiques:
 - Autorégulation – PRx
 - Oxygénation cérébrale - PbtO₂

NARRATIVE REVIEW

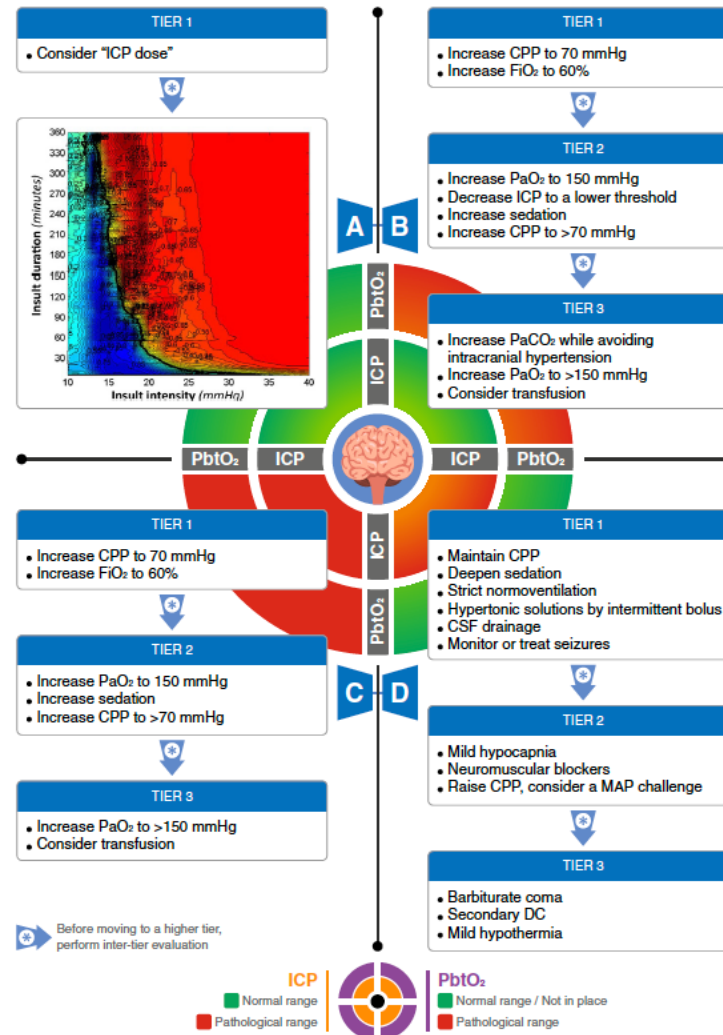
Management of moderate to severe traumatic brain injury: an update for the intensivist



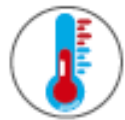
Monitoring multimodal



4 situations selon
PIC/PbtO₂



« THE MANTLE » → facteurs d'optimisation de l'oxygénation cérébrale



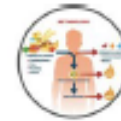
TEMPERATURE
36°C - < 37.5°C (Core)



HEMOGLOBIN
8 - 12 gr/dL



ELECTROLYTES
AND
**ACID-BASIC
STATUS**
Na⁺ 135-145 mEq/L
pH 7.35 - 7.45
P50 26-28 mmHg



METABOLISM
SvjO₂ > 55%
PtiO₂ > 18 mmHg
CPP 60-70 mmHg



ARTERIAL BLOOD
PRESSURE
SABP > 110 mmHg



NUTRITION AND
GLUCOSE
Glycemia 110-180 mg/dL



TARGET OF OXYGEN
PaO₂ 80 - 110 mmHg



LUNG PROTECTIVE
VENTILATION
Vt 6-10 ml/kg PBW
RR to achieve PaCO₂ 35-45 mmHg
PP < 24
DP < 13 cm H₂O
MP < 17 J/min

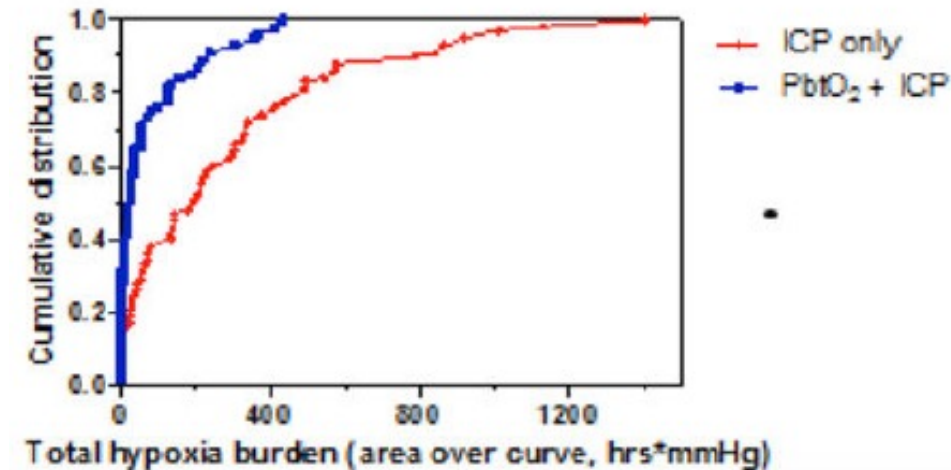


EDEMA AND ICP
CONTROL
ICP < 22 mmHg
ONSD < 5.5 mm; PI < 1.2
Serial CT scan

PbtO₂ - Evidence

- **BOOST II**

- Management lié à une PbtO₂ < 20mmHg
→ significativement moins d'hypoxie tissulaire

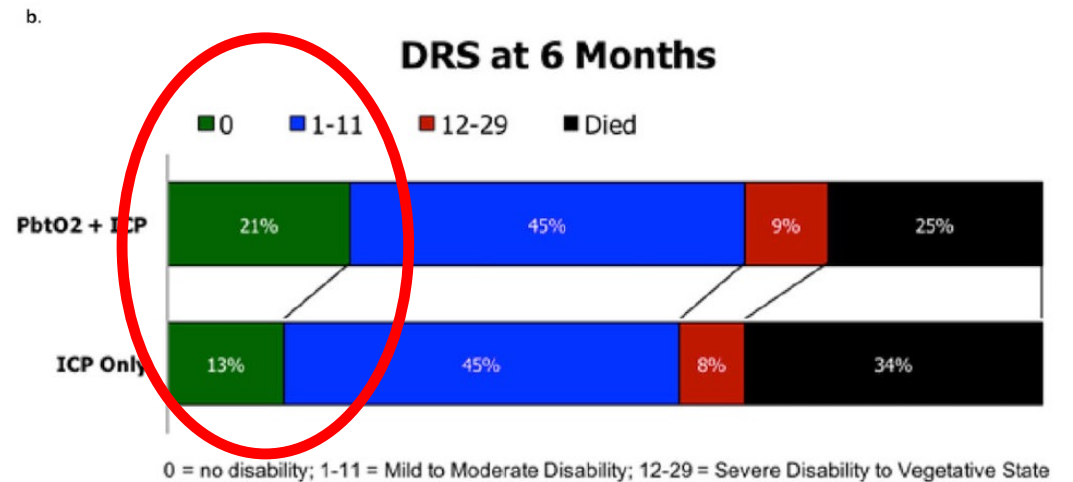
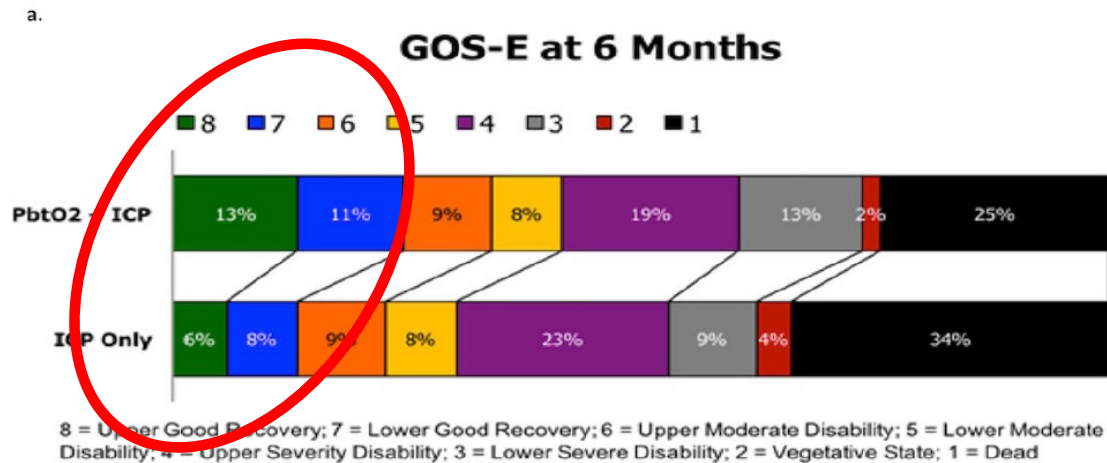


Réduction de la proportion de temps en hypoxie tissulaire de 66%

PbtO₂ - Evidence

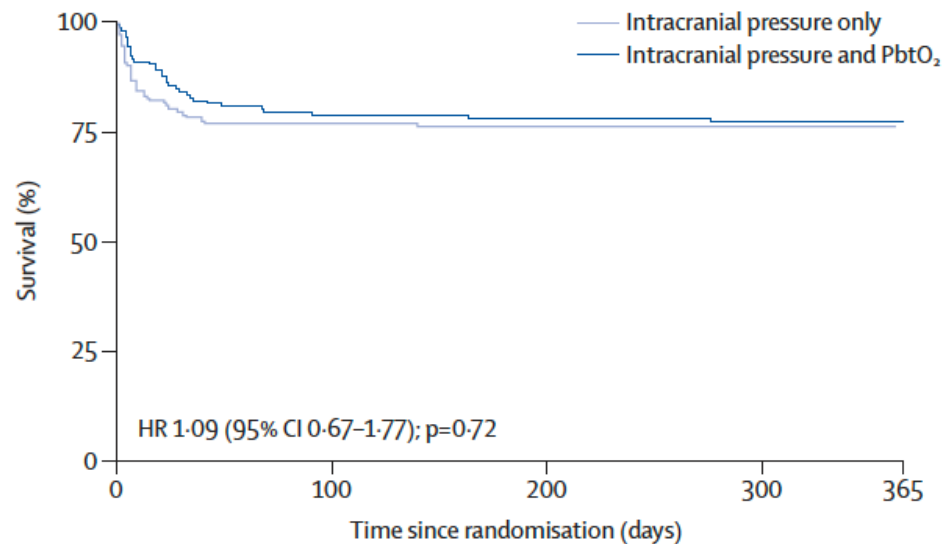
- **BOOST II**

- Dans le groupe PIC + PbtO₂ → tendance à: - mortalité plus basse (25% vs 34%)
- **meilleur outcome neurologique**

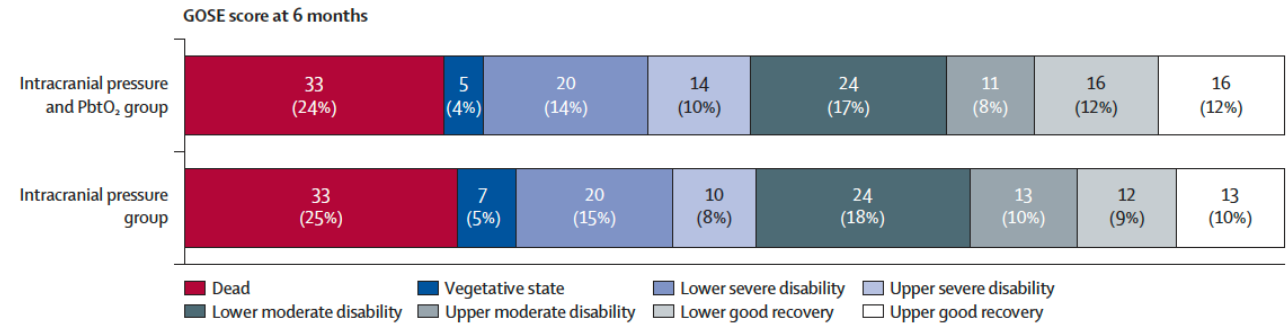


PbtO₂ – nouvelle prise en charge?...

- OXY-TC



Pas de différence de survie à 12 mois



Pas de différence de pronostic neurologique à 6 mois

PbtO₂ – nouvelle prise en charge?...

- **OXY-TC**

	Intracranial pressure only (n=144)	Intracranial pressure and PbtO ₂ (n=147)	p value
Technical failures related to intracerebral catheter			
Catheter dysfunction	2 (1%)	12 (8%)	0.011
Accidental removal	0	2 (1%)	0.050
Serious adverse event related to the trial			
Severe hypoxaemia during MRI	1 (1%)	0	0.49
Intracerebral haematoma	0	6 (4%)	0.030
Cardiorespiratory arrest during MRI	1 (1%)	0	0.49
Intracranial pressure increased	0	1 (1%)	1.00

- Dans le groupe PIC + PbtO₂:
 - Plus d'échec technique
 - Plus d'hématome intra-cérébral (4%) !

PbtO₂ – nouvelle prise en charge?...

- **OXY-TC**

- En post-hoc, sous-groupe de TBI avec PIC élevée à l'admission
 - ↘ significative de la proportion de patients avec mauvais outcome neurologique à 6 mois (89% → 52%!)

→ stratégie guidée par PIC + PbtO₂ pourrait réduire le nombre de patients avec mauvais outcome neurologique si HTIC à l'admission

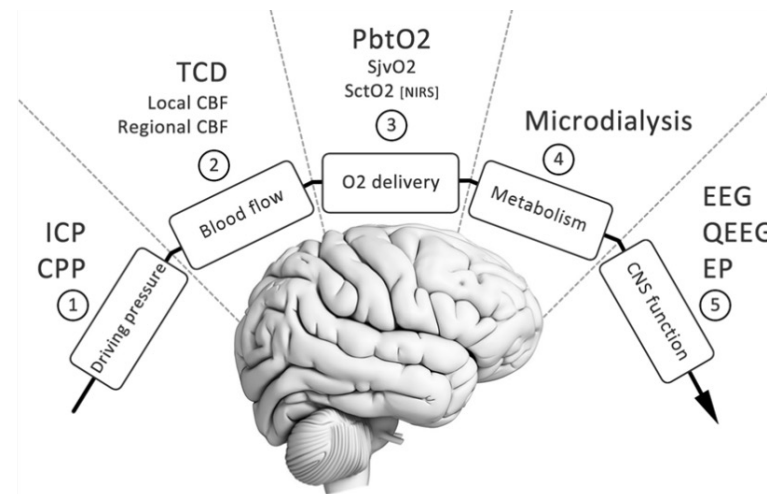
PbtO₂ – nouvelle prise en charge?...

- Pas d'indication systématique de PbtO₂
- Plus de complications → balance risque / bénéfice

→ Signal intéressant pour les patients avec une PIC élevée à l'admission

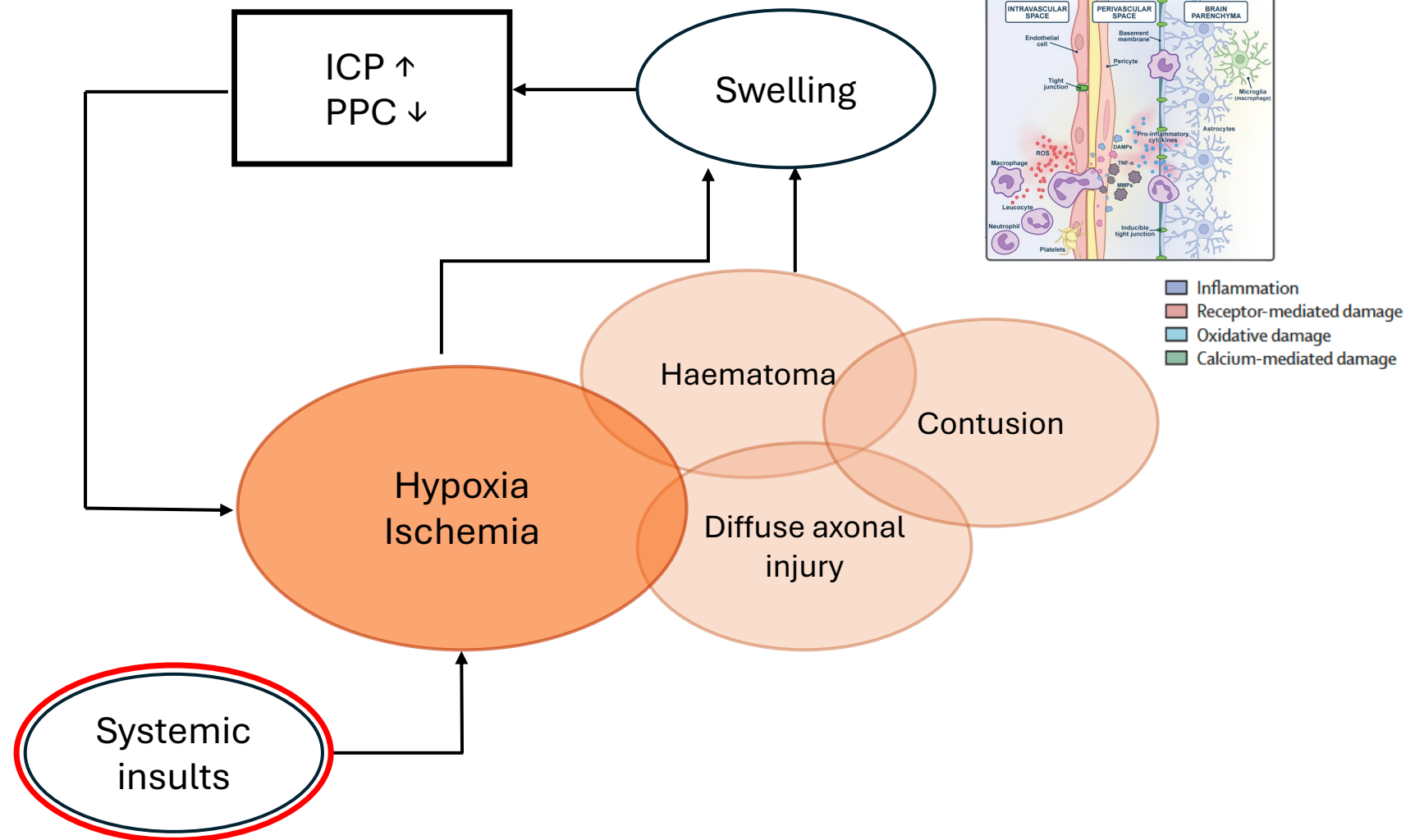
Monitoring multimodal

- Les chiffres ne doivent pas automatiquement entraîner des modifications



- Intérêt de comprendre les mécanismes sous-jacents
- Intégration des différentes données dans la gestion du TBI

Continuum physiopathologique



Management des agressions secondaires

- Correction des agressions cérébrales secondaires qui peuvent péjorer le pronostic:



Management de remplissage

- Cristalloïdes: fluide d'entretien et de réanimation préférentiel
- Gestion de l'HTIC → fluide hypertonique:
 - Mannitol ou solution salée hypertonique → ↓ de la PIC
 - Attention aux effets
 - Mannitol (0,5-1g/kg):
 - Risque de diurèse osmotique et d'hypovolémie
 - Solution salée hypertonique:
 - Acidose hyperchlorémique
 - Hypervolémie

Transfusion

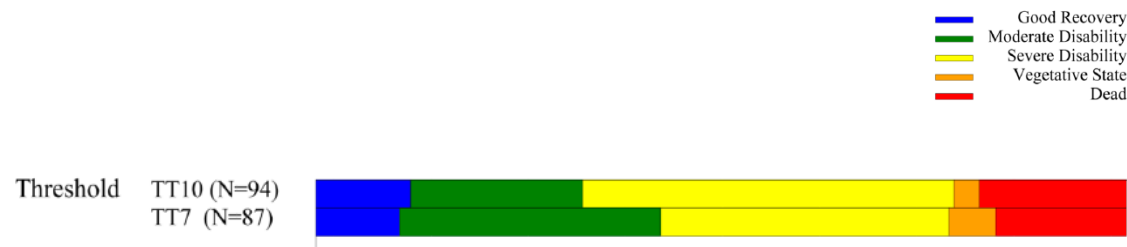
- Lien entre anémie et mortalité dans le TBI

Intervention or outcome	Hemoglobin				P value
	<90 g/L (n = 25)	90-99 g/L (n = 61)	100-109 g/L (n = 46)	≥110 g/L (n = 37)	
Therapeutic hypothermia <35°C, number (percentage)	7 (28)	8 (13)	10 (22)	7 (19)	0.38
Therapeutic hypothermia <38°C, number (percentage)	7 (28)	22 (36)	16 (35)	12 (32)	0.92
EVD inserted, number (percentage)	14 (56)	31 (51)	29(63)	23 (62)	0.57
Jugular bulb inserted, number (percentage)	10 (40)	27 (44)	26 (56)	16 (43)	0.47
Days of EVD, median (IQR)	10 (6-16)	7 (5-12)	8 (6-12)	8 (4-12)	0.47
Days of mechanical ventilation, median (IQR)	9 (5-18)	9 (6-12)	7 (4-12)	5 (4-10)	0.29
ICU days, median (IQR)	9 (6-20)	12 (7-15)	9 (5-14)	8 (5-10)	0.44
28-day mortality, number (percentage)	10 (40)	8 (13)	9 (20)	4 (11)	0.03
Hospital mortality, number (percentage)	12 (48)	8 (13)	11 (24)	6 (16)	0.006

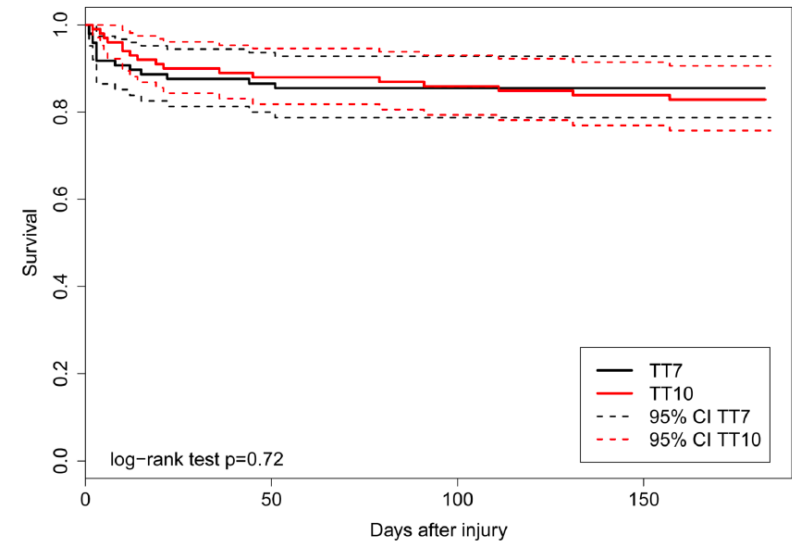
- Anémie dans le TBI est associé à une ↑ de la mortalité
- Seuil de transfusion controversé....

Transfusion

- Comparaison d'une stratégie restrictive vs libérale de transfusion



Pas de différence d'outcome neurologique



Pas de différence de survie

Transfusion

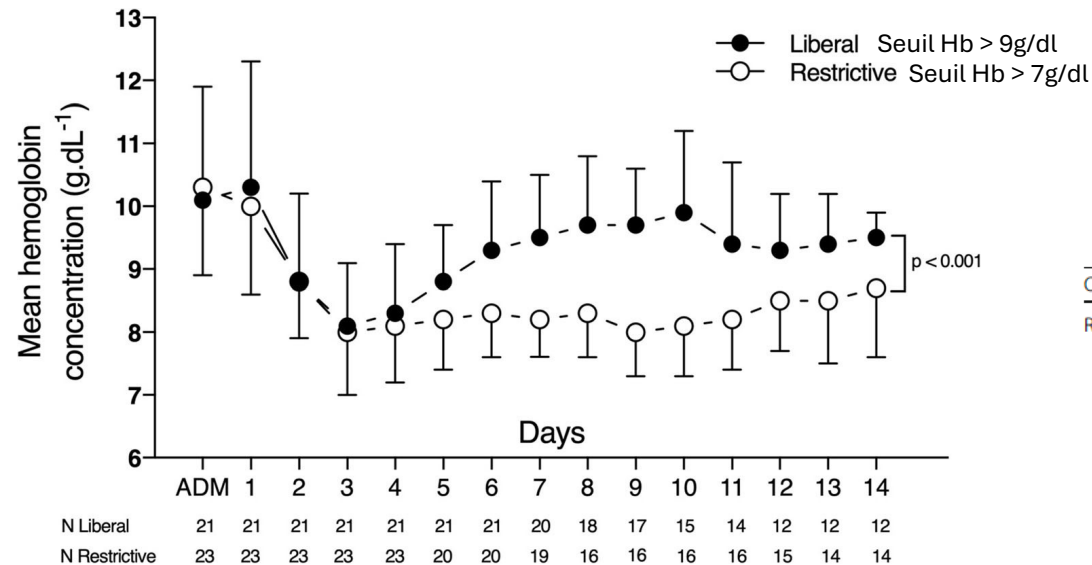
- Comparaison d'une stratégie restrictive vs libérale de transfusion
 - ! Significativement plus d'événement thrombo-embolique dans le groupe transfusion libérale
- Mais... range d'Hb élevé dans le groupe Transfusion restrictive...

Hemoglobin Concentrations Over Time

Treatment Group	Time After Injury				
	Enrollment	Day 9	Day 16	Day 23	Day 30
Factor 2 (Transfusion Threshold)					
Transfusion Threshold 7 g/dl, median (25 th -75 th)	14.4 (13-15.6)	9.7 (8.6-10.9)	9.6 (8.8-10.6)	10.7 (9.6-11.5)	10.8 (9.5-11.5)
N	99	85	65	48	28
Transfusion Threshold 10 g/dl, median (25 th -75 th)	14.6 (12.8-15.5)	11.4 (10.7-12.2)	11.2 (10.4-12.2)	11.9 (10.9-12.8)	11.7 (10.8-12.4)
N	101	87	75	53	40

Transfusion

- Comparaison d'une stratégie restrictive vs libérale de transfusion
 - Petite étude de 44 patients TBI



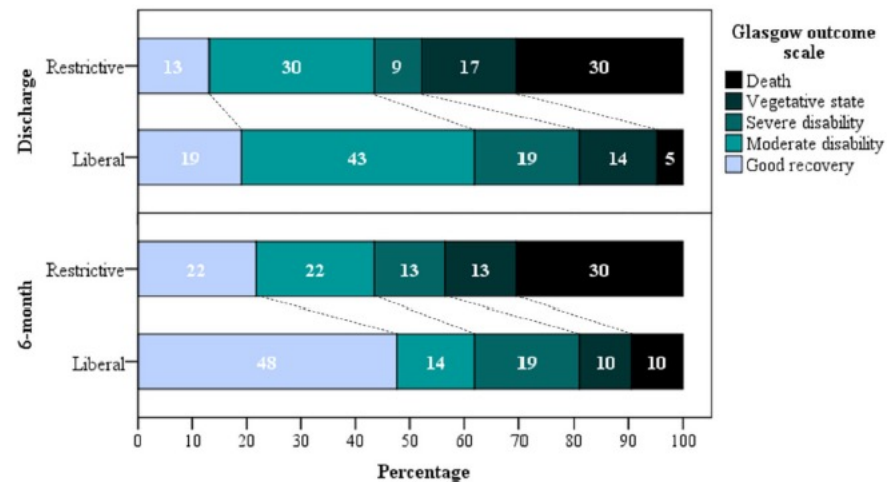
Outcomes	Total (44)	Liberal (21)	Restrictive (23)	p value
RBC units per patient	2.3 ± 1.8	3.1 ± 1.6	1.5 ± 1.7	< 0.01

Faisabilité de séparer 2 groupes de transfusion

Différence significative du nombre de poche de transfusion

Transfusion

- Comparaison d'une stratégie restrictive vs libérale de transfusion



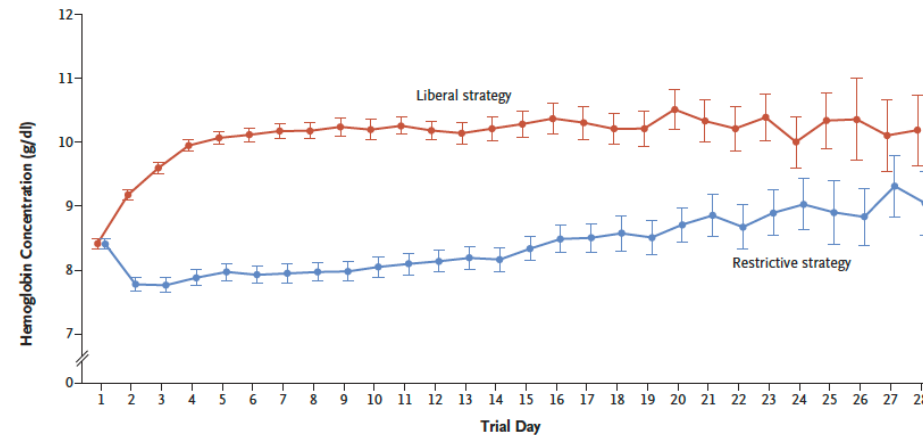
		Seuil Hb > 9g/dl	Seuil Hb > 7g/dl	
Outcomes	Total (44)	Liberal (21)	Restrictive (23)	p value
Mortality				
ICU death	8 (18)	1 (5)	7 (30)	0.05
In-hospital death	8 (18)	1 (5)	7 (30)	0.05

- Impact positif significatif sur l'outcome neurologique et la mortalité pour le groupe transfusion libérale

Transfusion

- HEMOTION

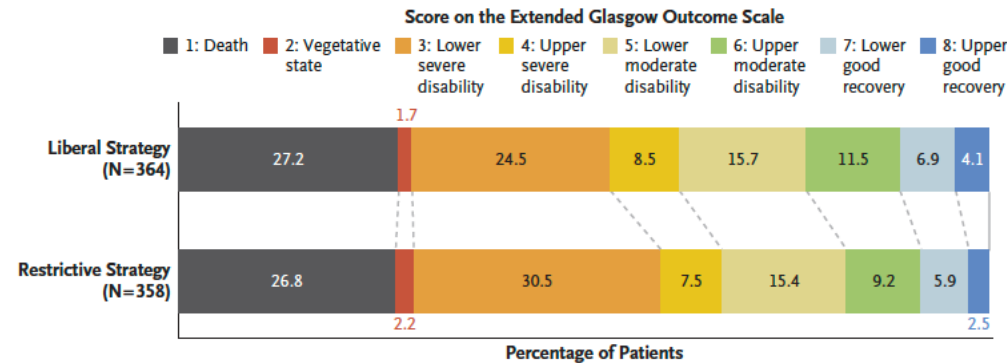
- 742 TBI randomisés selon la stratégie de transfusion : libérale (Hb > 10g/dl) vs restrictive (Hb 7 g/dl)



Transfusion

- HEMOTION

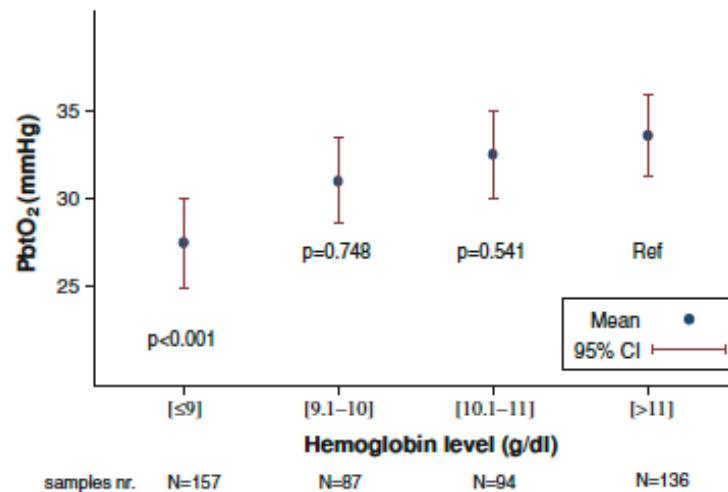
- 742 TBI randomisés selon la stratégie de transfusion :
libérale (Hb > 10g/dl) vs restrictive (Hb 7 g/dl)



Stratégie de transfusion libérale ne réduit pas le risque d'outcome défavorable

Transfusion

- Range d'Hb raisonnable entre 7-9g/dl
- Intérêt de la PbtO₂ ?



Chute significative de la PbtO₂ quand Hb < 9g/l

Relationship between anemia with simultaneous compromised PbtO₂ and unfavorable outcome

Variable	Odds ratio	95% CI	p
Anemia (Hgb ≤ 9 g/dl) and simultaneous brain hypoxia (PbtO ₂ < 20 mmHg)	6.24	1.61; 24.22	0.008
Admission GCS	0.80	0.65; 1.00	0.045
Marshall CT grade	1.69	0.98; 2.93	0.059
APACHE II score	1.27	1.02; 1.58	0.030
Age	1.01	0.97; 1.04	0.758

Anémie couplée à une PbtO₂ basse est associée à un outcome défavorable

Lien PbtO₂ et Hb

- Impact de la transfusion sur la PbtO₂?

Pre- and Posttransfusion Changes in Collected Variables, in a Total of 109 RBC Transfusions

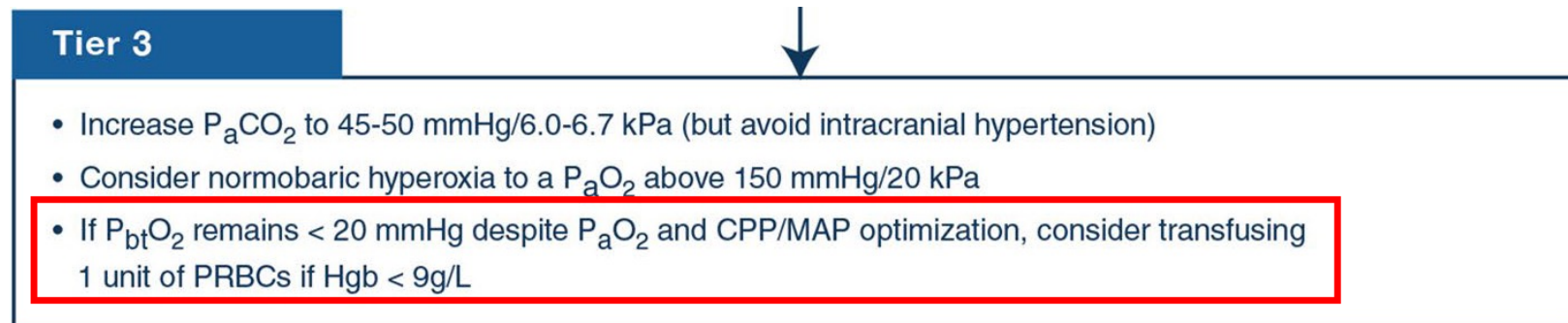
Variables	Baseline	1 hr	2 hr	<i>p</i>
PbtO ₂ , mm Hg	21 (16–26)	24 (20–29)	25 (20–30)	0.001
Hemoglobin, g/dL	7.9 (7.3–8.7)		9.2 (8.5–10.1)	0.001

- ↗ significative de 20% de la PbtO₂ post-transfusion
- Pas de seuil d'Hb clair identifiable → à adapter selon une approche personnalisée

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

Transfusion

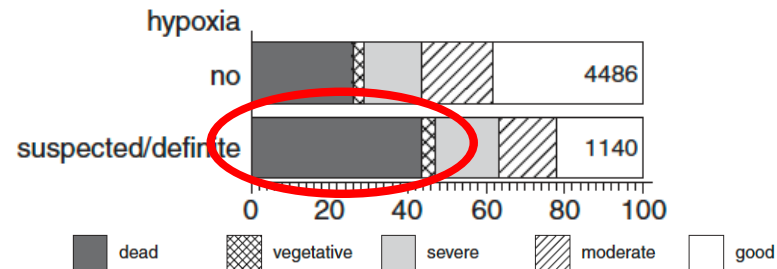
- Le seuil de transfusion peut être discuté selon le monitoring multimodal



- En Tier 3: proposition de maintenir une Hb > 9g/l après correction de tous les autres facteurs

Management respiratoire: oxygénation

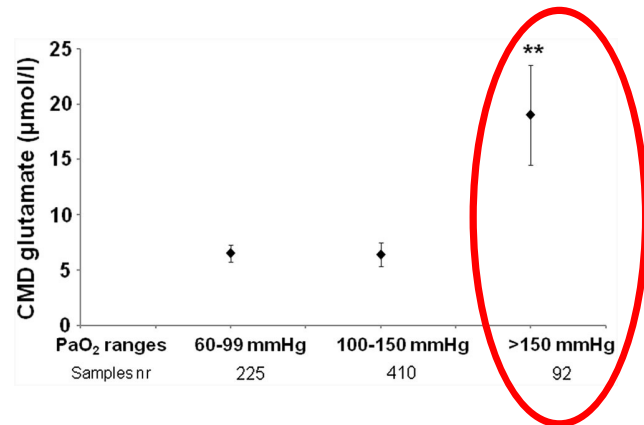
- Hypoxémie est nocive pour le cerveau



Hypoxie est associée à un mauvais outcome neurologique

Management respiratoire: oxygénation

- Hyperoxie est également délétère



Hyperoxie est associée à une augmentation de l'excitotoxicité

Table 4. Effect of Hyperoxia Compared With Normoxia on Outcome Measures^a

	OR (95% CI)	P Value
>200 vs 100-200 mm Hg		
Mortality	1.50 (1.15-1.97)	.003 ^b
Discharge GCS score 3-8	1.52 (1.18-1.96)	.001 ^b

Hyperoxie est associée à un mauvais pronostic dans le TBI

Management respiratoire: oxygénation

CONFERENCE REPORTS AND EXPERT PANEL

Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine consensus

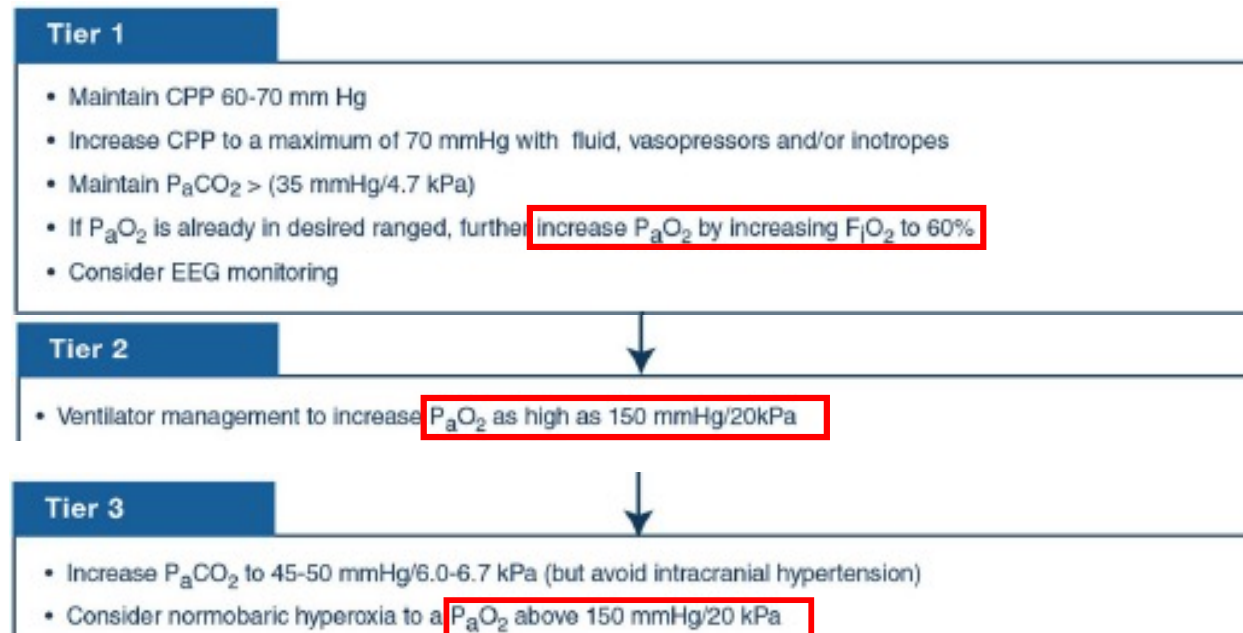


- Recommandation d'une normoxie: PaO_2 80-120mmHg

Management respiratoire: oxygénation

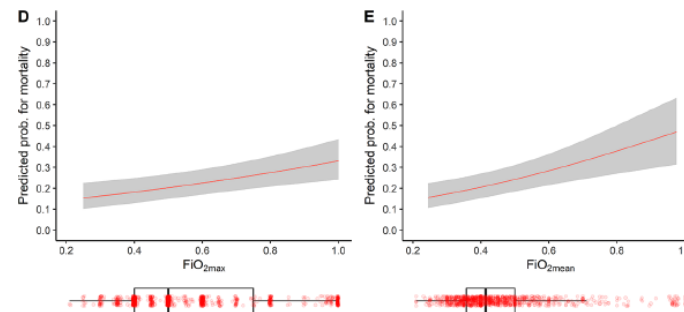
A management algorithm for adult patients with both brain oxygen and intracranial pressure monitoring: the Seattle International Severe Traumatic Brain Injury Consensus Conference (SIBICC)

- Seuil modifié selon la P_{btO_2} ...



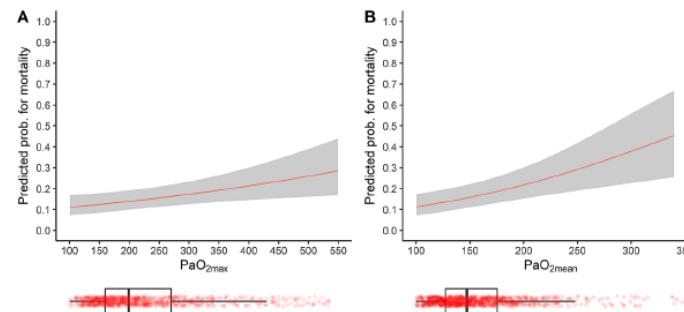
Management respiratoire: oxygénation

- Impact de l'exposition à des PaO_2 et FiO_2 élevées pendant la 1^{ère} semaine post-TBI?
 - Probabilité de mortalité plus élevée quand FiO_2 max + élevée



Gravité des malades?

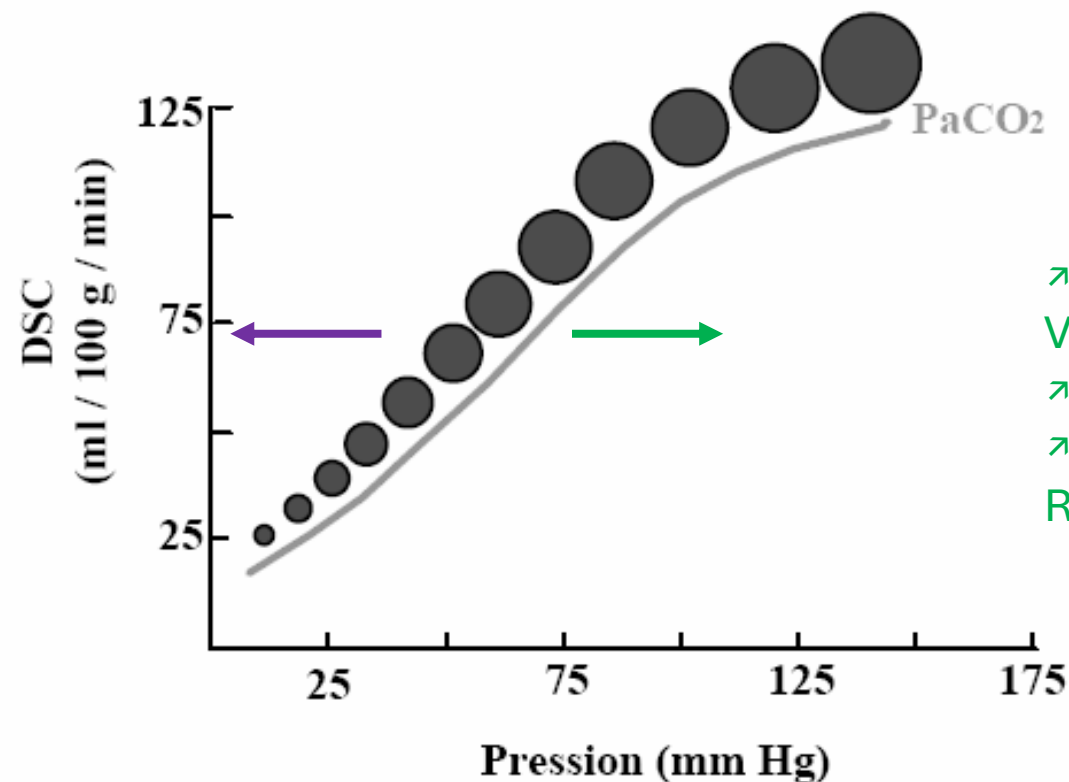
- Probabilité de mortalité + élevée quand PaO_2 max + élevée



Management respiratoire: PaCO₂

- Flux sanguin cérébral / PaCO₂

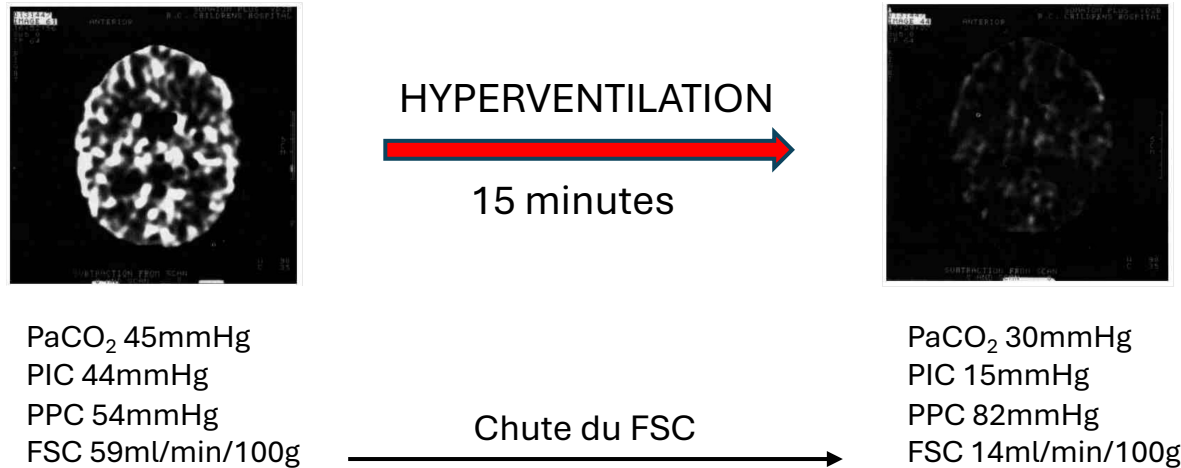
↘ PaCO₂
Vasoconstriction
↘ FSC
↘ PIC
Risque d'ischémie



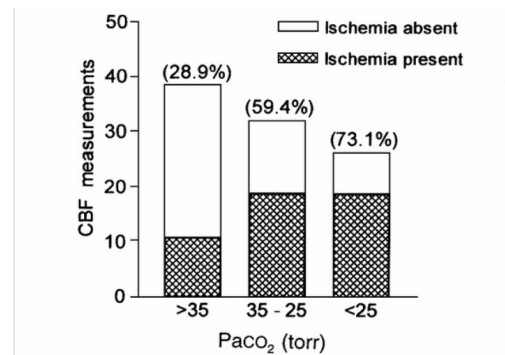
↗ PaCO₂
Vasodilatation
↗ FSC
↗ PIC
Risque d'oedème

Management respiratoire: PaCO₂

- Flux sanguin cérébral / PaCO₂

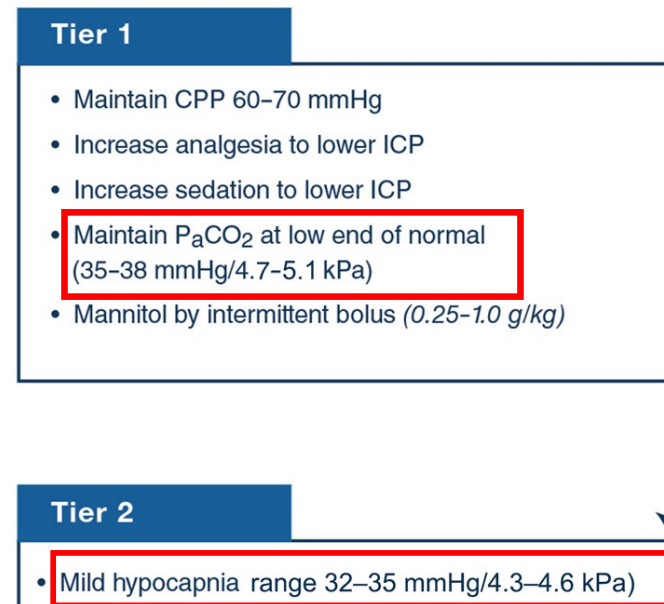


- Hyperventilation → ↑ significative de l'ischémie régionale cérébrale



Management respiratoire: PaCO₂

- En cas d'engagement cérébrale:
 - hyperventilation à court terme est une option thérapeutique



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

Management respiratoire: PaCO₂

- Intégrer dans la gestion de la PbtO₂

Tier 1

- Maintain CPP 60-70 mm Hg
- Increase CPP to a maximum of 70 mmHg with fluid, vasopressors and/or inotropes
- Maintain PaCO₂ > (35 mmHg/4.7 kPa)

Tier 3

- ↓
- Increase PaCO₂ to 45-50 mmHg/6.0-6.7 kPa (but avoid intracranial hypertension)

Management respiratoire: PaCO₂

CONFERENCE REPORTS AND EXPERT PANEL

Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine consensus



- Recommandation d'une normocapnie en l'absence d'engagement cérébral: PaCO₂ 35-45mmHg

Management respiratoire: PaCO₂

CONFERENCE REPORTS AND EXPERT PANEL

Mechanical ventilation in patients with acute brain injury: recommendations of the European Society of Intensive Care Medicine consensus



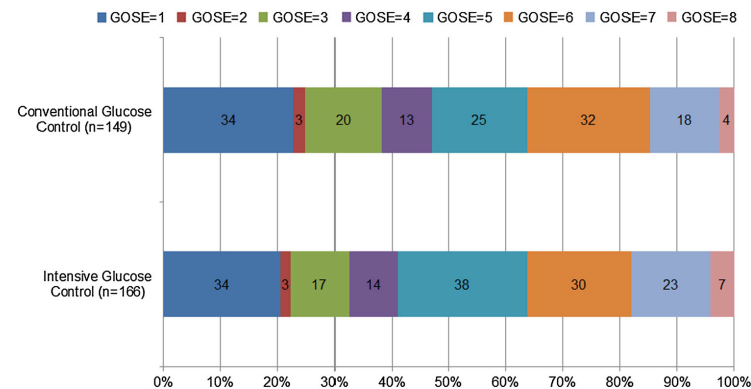
- Hyperventilation à court terme est une option thérapeutique en cas d'engagement cérébral

Glycémie

- Glucose = source principale d'énergie pour le neurone
- Hyperglycémie est associée à $\uparrow$ de morbi-mortalité
- Hypoglycémie peut-être délétère pour le cerveau

Glycémie

Comparaison de contrôle glycémique chez les TBI:
intensif (glucose < 106mg/dl) vs conventionnel (glucose < 180mg/dl)



Pas de différence d'outcome

Outcome measure	Total number of patients with data	Intensive control	Conventional control	Odds ratios or absolute difference (95 %CI)	Statistical test	P value
Patients suffering severe hypoglycemia [n/total n (%)]	391	10/203 (4.9)	0/188 (0)	20.5 (1.2–351.6)	Binary logistic regression*	0.003
Patients suffering moderate hypoglycemia [n/total n (%)]	390	160/202 (79.2)	17/188 (9.0)	38.3 (21.0–70.0)	Binary logistic regression	<0.0001

Incidence plus élevée d'hypoglycémie si thérapie intensive

→ Glycémie acceptable entre 80 et 180mg/dl

Management du Na⁺

- 2/3 des TBI présenteront des altérations d'électrolytes
- Lié à:
 - dommages hypothalamo-hypophysaires
 - solution de remplissage
- HypoNa⁺ → œdème cérébral
- Recommandation: éviter l'hyponatrémie (Na⁺ < 135 mEq/l)

Management du Na^+

- $\text{HypoNa}^+ \rightarrow$ œdème cérébral et est associé à un outcome défavorable
- $\text{HyperNa}^+ \rightarrow$ associé à une augmentation de mortalité
- Recommandation: éviter l'hyponatrémie ($\text{Na}^+ < 135 \text{ mEq/l}$)

Management de la température

- Effet de l'hyperthermie:
 - Effet cellulaire
 - Dommages membranaires, mitochondriaux et d'ADN
 - Stimulation de l'excitotoxicité
 - Dénaturation des protéines
 - Effet systémique
 - Rupture de la barrière hémato-méningée → œdème cérébral
 - ↑ consommation cérébrale en O_2 et en glucose → désordre métabolique
 - ↑ flux sanguin cérébral → œdème cérébral
- Importance de lutter contre l'hyperthermie → t° centrale $< 38^\circ$

+

•

○

Traumatisé crânien en soins intensifs

- Pathologie évolutive dans le temps
- Possibilité d'agir sur les lésions secondaires
- Aucun seuil n'est absolu
- Apport du monitoring multimodal
- Adapter la prise en charge à l'interprétation des variables → individualisation
- Évaluer les traitements au regard de leurs bénéfices et risques