

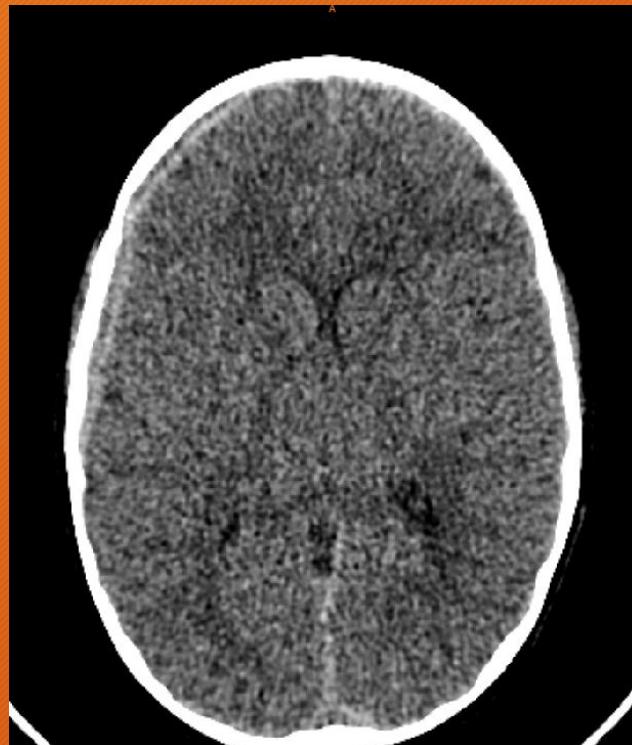
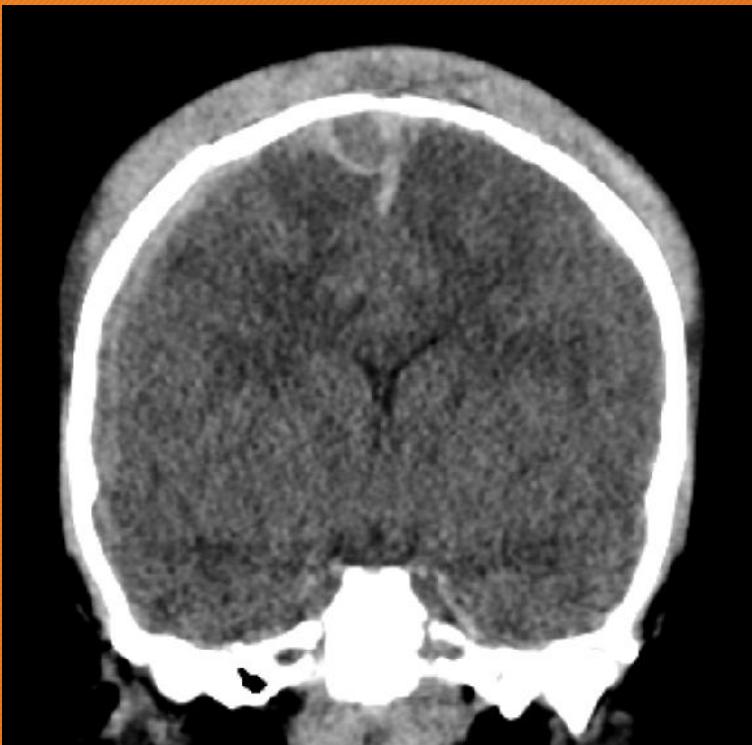
A wide-angle photograph of a majestic mountain range, likely the Alps, under a clear blue sky. The mountains are covered in patches of white snow, particularly on the peaks and ridges. The foreground shows rugged, rocky terrain partially covered in snow. In the background, more mountain ranges are visible, creating a sense of depth and scale.

# Das schwere Schädelhirntrauma aus Sicht der Intensivmedizin

Uwe Klingowski, Innsbruck

# Fallbeispiel

2 Jahre, Sturz aus 5 m Höhe, direkter Aufprall mit dem Kopf, GCS 8,  
Transport u. Spontanatmung mit Heli in den Schockraum, OP Neurochirurgie



cCT, NC- OP  
Übernahme auf die  
Päd. Intensivstation

**Weitere Behandlung?**

- Strategie
- Leitlinien
- Vorgaben für den Dienst

# Glasgow Coma Scale

- Einteilung idR. nach Glasgow Coma Scale (GCS) 3-15 Punkte

13-15 leichtes SHT

9-12 mittelschweres SHT

3-8 schweres SHT

? Wann/ Wo wird er erhoben, Erfahrung mit Kindern

Alternativen: Best Motor Score (GCS), AVPU, Score mit Pupillenbeurteilung (ECS)

# Brain Trauma Foundation

Guidelines for the Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury, Third Edition:  
Update of the Brain Trauma Foundation Guidelines.

Management of Pediatric Severe Traumatic Brain Injury: 2019 Consensus and Guidelines-Based Algorithm for First and Second Tier Therapies

Veröffentlicht 2019 in Pediatric Critical Care Medicine

doi: 10.1097/PCC.0000000000001735 und 10.1097/PCC.0000000000001737

Fast alle „nur“ Level III Empfehlungen

# AWMF Leitlinie

## Das Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter- und Jugendalter

AWMF Leitlinie Nr. 24-018, S2k, 14.02.2022

Schädel-Hirn-Trauma im Kindesalter

**AWMF-Register-Nummer: 024-018**

Anmeldung: 27.01.2016, erneute Anmeldung: 03.03.2021, finale Fassung 14.02.2022

**Schlüsselwörter (Deutsch):** Schädel-Hirn-Trauma (SHT), Kindesalter, Computertomografie, Glasgow Coma Scale (GCS), Bewusstseinstrübung, Bewusstlosigkeit, Krampfanfall, intrazerebraler Druck (ICP), zerebraler Perfusionsdruck (CPP), Kranietomie

**Keywords (Englisch):** Traumatic brain injury, children, computed tomography, coma, seizure, intracerebral pressure, cerebral perfusion pressure, craniectomy

### Federführende Fachgesellschaft

Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI)

### Beteiligte Fachgesellschaften

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC)

Deutsche Gesellschaft für Kinderchirurgie (DGKCH)

Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU)

Gesellschaft für Pädiatrische Radiologie (GPR)

Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI)

Gesellschaft für Neuropädiatrie (GNP)

Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (DGKJ)

Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmanagement (DIVI)

Kinderneurologie-Hilfe Bundesverband e.V.

# Prognose

Höchste Mortalität und Morbität bei Kindern < 4 Jahre

Mortalität und Morbität von Kinder besser als Erwachsene

Mortalität schweres SHT in Deutschland (Trauma Register DGU 2002- 2012)

17,8 % (1-3 J.) - 9,3 % (15-17 J.), Erw. 13,7 %

Severe Disability (GOS 2&3) Kinder 5,0 % (1-3 J.)- 12,4 %(15-17 J.), Erw. 17,3 %

Lichte et al, Eur J Med Res, 2015

# Prognose und GCS

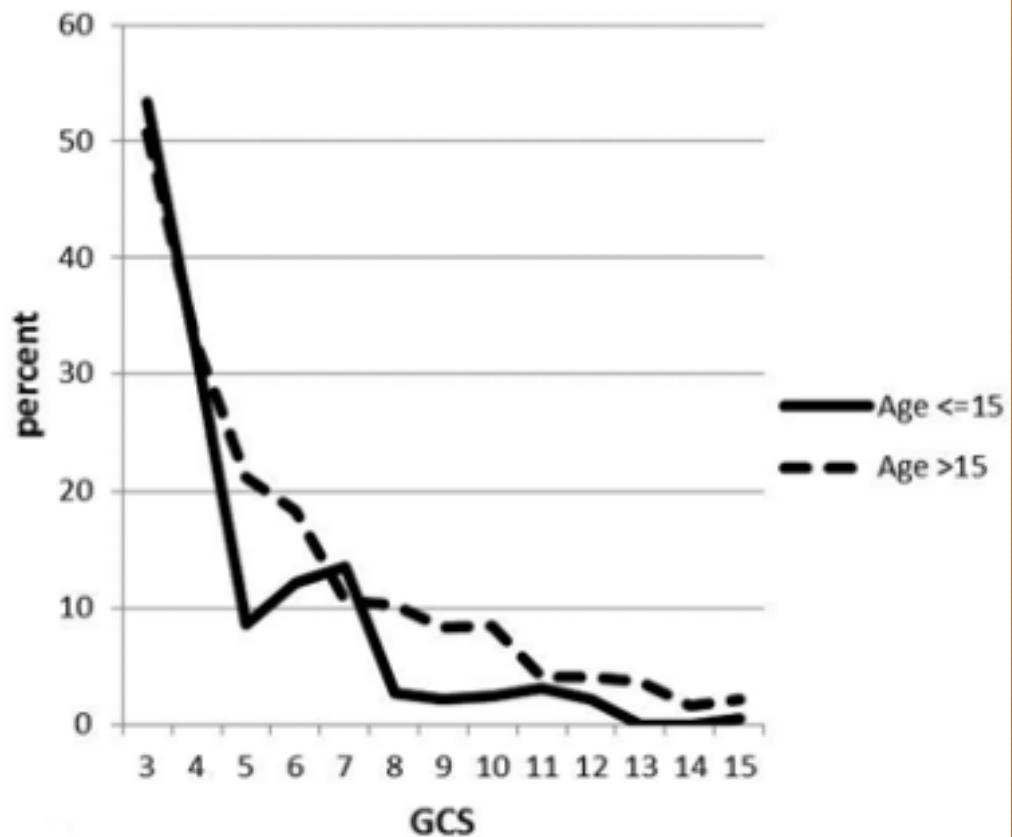


FIG. 2. Left: Percentage of deaths according to GCS score.

Impact of Glasgow Coma Scale score and pupil parameters on mortality rate and outcome in pediatric and adult severe traumatic brain injury, Emami et al, 2017, J Neurosurg

# Primäre Schädigung

## Fokal

- Intraparenchymale, subdurale, epidurale Blutung, Subarachnoidalblutung, Intraventrikuläre Blutung, Verletzung der großen Venen (Sinus)
- Hirnkontusion (Coup/ Contrecoup)
- Verletzung der Weichteile, Frakturen (Hirnbasis, Felsenbein), Durazerreissung,

## Diffus

- **Diffuse Axonal Injury (DAI)**

Abscherung axonaler Strukturen typisch am Übergang von der weißen zur grauen Substanz.

3 Schweregrade n. Adams

Begleitverletzungen insbesondere HWS, Polytrauma

# Sekundäre Schädigungen

- Neuroinflammation
- Mikrothrombosen
- Mitochondriale Dysfunktion
- Apoptosis

In Folge:            **Versagen/ Beeinträchtigung der vaskulären Autoregulation**

**Der gesteigerter Hirndruck ist (zusammen mit der verminderte Durchblutung)  
die entscheidende pathophysiologische Variable für eine sekundären Hirnschädigung  
und damit für das Outcome!**

**Die Hirnödemgefahr ist nach 24- 72h am größten**

# Bildgebung

## Bei schwerem SHT:

- Rasches cCT (ggf. inkl. HWS oder bei Polytrauma auch „Schockraumspirale“)
- cMRT nicht als initiale Untersuchung → Verlaufskontrolle
- US sollte cCT nicht verzögern
- Röntgen hat keinen Stellenwert
- Leichtes u mittelschweres SHT & cCT: Pecarn/ Catch/ Calice

# Operation nach SHT

- Raumfordernde intrakranielle Verletzungen sollen unverzüglich operiert werden
- Operationen mit aufgeschobener Dringlichkeit (Impressionsfrakturen, basale Frakturen) später
- Nichtraumfordernde intrakranielle Blutungen: klinische Beobachtung, ggf. cCT Kontrolle
- Begleitverletzungen nur bei absoluter Notwendigkeit! AWMF
- CAVE MRT und Metall (Osteosynthese, Fixateur externe, ICP- /Licox- Sonde ..)

# Grundprinzip der Behandlung

Verhinderung oder Minimierung der Sekundären Hirnschädigung

- Behandlung von erhöhtem Hirndruck
  - Verhinderung von arterielle Hypotension und Hypoxie
  - Aufrechterhaltung eines adäquaten Cerebralen Perfusionsdruckes (CPP)
  - Vermeidung/ Behandlung von Fieber, Krampfanfällen und Hypoglykämie
- Aufrechterhaltung der Homöostase

# Intracranial pressure (ICP)

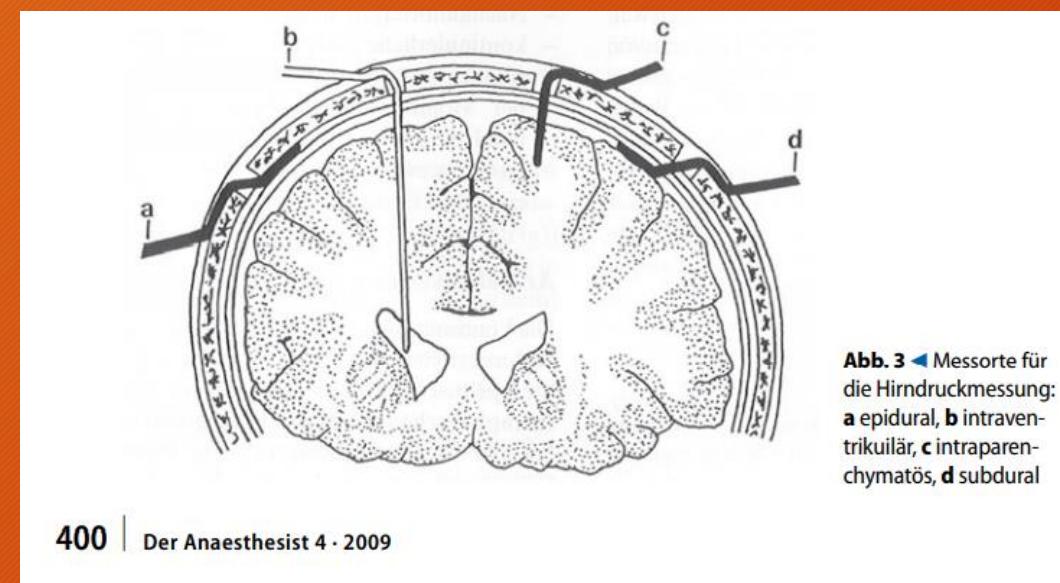
Die Messung des intrakraniellen Druckes erfolgt durch:

Parenchymsonde (auch epi- oder subdurale Lage)  
oder

Ventrikelkatheter, dabei besteht auch die therapeutische Option der Liquordrainage

Risiken/ Komplikationen:

Blutungen, Infektionen, Fehlmessungen



# Intracranial pressure (ICP)

Bei schwerem SHT:

Keine Level I oder II- Empfehlung

Level III Empfehlung zur Anlage einer ICP Messung

Level III Empfehlung für Zielwert < 20 mmHg (> 5 min)

Normwerte im Liegen bei Lumbalpunktion:

8,7- 21,2 mmHg

# Cerebral perfusion pressure (CPP)

$$\text{MAP} - \text{ICP} = \text{CPP}$$

Neben ICP entscheidende Variable beim schweren SHT

Eine ausreichende Hirndurchblutung hängt von einem adäquaten Perfusionsdruck ab.  
Verminderte Kapazität zu Autoregulation beim SHT.

- Nicht klar ob in erster Linie die pathologische ICP Erhöhung behandelt werden sollte oder eine ausreichender CPP im Vordergrund steht ?!

Level III Empfehlung: CPP > 40 mmHg

„There may be age-specific thresholds with infants at the lower end and adolescents at or above the upper end of this range“

Nicht klar definiert ist der die Höhe der arteriellen Messung: auf Herzhöhe od. Foramen Monroi

# Cerebral perfusion pressure (CPP)

## Therapievorschlag

Pädiatrische Notfall u.  
Intensivmed. Nicolai et al, 6. A.

SG	> 40 mmHg
Kleinkinder	> 50 mmHg
Schulk.	> 60 mmHg
Oberes Limit	70 mmHg

## Therapievorschlag

Paediatric Int. Care Guidelines  
RCH\_Melbourne, 4. A. (For. Monroi)

1-6 Mon	>35 mmHg
6-11 Mon	>40 mmHg
1-4 Jahre	>45 mmHg
5-9 Jahre	>50 mmhg
10 -15 J.	> 55 mmHg
>15 Jahre	> 60 mmHg

AWMF: CPP > 40- 60 mmHg

# Beatmung

Hintergrund: pCO<sub>2</sub> art. hat einen entscheidenden Einfluss auf die Hirndurchblutung und Hirndruck

Zu starke Hyperventilation (< 35 mmHg) vermindert aber den cerebralen Blutfluß und stellt eine Minderversorgung des Gehirns dar

Level III Empfehlung: pCO<sub>2</sub> art. 35- 40 mmHg

Bei refraktärer ICP-Erhöhung ist eine kurzzeitige Hyperventilation möglich/ sinnvoll (30- 35 mmHg)

# Analgosedierung/ Relaxierung

Hintergrund: die Therapie des beatmeten Patienten benötigte eine adäquate Analgosedierung.

Level III Empfehlung: Vermeide Midazolam- und Fentanyl- **Bolus**

- Meist genannt: Midazolam/ Opiat Dauerinfusion
- Relaxierung keine Empfehlung möglich, in der Praxis oftmals eingesetzt
- Ketanest möglich
- Propofol bei Kindern nicht empfohlen

!? oft ist eine rasche Gabe notwendig

# Krampfanfälle

Hintergrund: Bis zu 70 % der SHT Patienten zeigen im EEG Krampfaktivität, damit auch erhöhter Metabolismus und O<sub>2</sub>-Bedarf

Level III Empfehlung für Prophylaxe

- Levetiracetam oder Phenytoin
- AWMF: „in der ersten Wochen kann eine prophylaktische antikonvulsive Therapie durchgeführt werden“

Praktisches Problem: 24/7 EEG- Betreuung und Beurteilung

# Osmotische Therapie

Prinzip: Osmotischer Shift von Wasser aus dem Parenchym in den Intravasalraum  
Reduktion des cerebralen Ödems, Verbesserung der Rheologie

Hyperosmolare NaCl-Lösung:

Level II Empfehlung      **Bolus** 3 % NaCl 2-5 ml/kg in 10-20 min

Level III Empfehlung      **Bolus** 23,4 % NaCl 0,5 ml/kg max 30 ml

NaCl 3% Dauerinfusion 0,1-1,0 ml/kg/h

Serum Natrium: Vermeidung von langanhaltenden Hypernatriämien (> 72 h)

< 160mmol/l bzw. 170 mmol/l wg. Tiefer Venenthrombose/ Thrombozytopenie u. Anämie

Mannitol: keine aktuellen Studien (1970er) aber weiter möglich (! Diurese, Akkumulation im Gehirn)

# Externe Ventrikeldrainage (EVD)

Hintergrund: Hirndruckmessung und -therapie

- Intermittierende und kontinuierliche Drainage möglich
- Level III Empfehlung bei Kindern
- Level III Empfehlung bei Erwachsenen (Kontinuierlich > Intermittierend)
- Initial zu treffende Entscheidung
- Bei Mittellinienverlagerung oder bestehenden Hirnödem ist die Punktionsstelle schwierig bis unmöglich

# Barbiturate

Hintergrund: Senkung der Hirnstoffwechsel und Veränderung des Gefäßtonus, führt zu geringerem Cerebralen Blutfluss und ICP- Senkung

Nebenwirkung: Kreislaufdepression und Hypoxie (intrapulm. Shunts)

Oft genannt ist Thiopental aber auch Pentobarbital

Maximaler Effekt mit Burst Supression - EEG Kontrolle

# Normo- / Hypothermie

Hintergrund: Vermutete Reduktion des Hirnstoffwechsels, Verringerung von Inflammation, Apotose und Krampfanfällen.

- **Prophylaxe:** Level II Empfehlung moderate Hypothermie (32-33 °C) nicht besser als Normothermie

- Hyperthermie (38,0- 38,5 °C) korreliert mit schlechtem Outcome

- **Therapie** des erhöhten Hirndruckes:

Level III Empfehlung: moderate Hypothermie verringert ICP

! Höherer ICP bei Wiedererwärmung (Langsam 0,5- 1,0 °C/ 12-24 h)

Cave: Kreislaufdepression und Reduktion Stoffwechsel (Medikamente)

# Advanced Neuromonitoring

Hintergrund: Messung des cerebralen Sauerstoffpartialdrucks (PbrO<sub>2</sub>) zur Beurteilung der zerebralen Sauerstoffversorgung (**Licox- Sonde**)

- Keine Empfehlung zum Einsatz einer Oxigenierungssonde
- Level III Empfehlung: wenn Sonde eingesetzt:
  - > 10 mmHg mit besserem Outcome verbunden
- Bei niedrigen pCO<sub>2</sub> Werten ( $\leq 35$  mmHg) iR. von ICP-Krisen wichtige Zusatzinformation zur O<sub>2</sub> Versorgung des Gehirns

# Kraniotomie

Hintergrund: Dekompression durch Entfernung der Schädelkalottte  
Hemikranektomie oder bilaterale Kraniektomie

Ziel ICP-Reduktion- sehr guter Effekt

Risiko: hoher Blutverlust assoziiert mit erhöhter Mortalität,

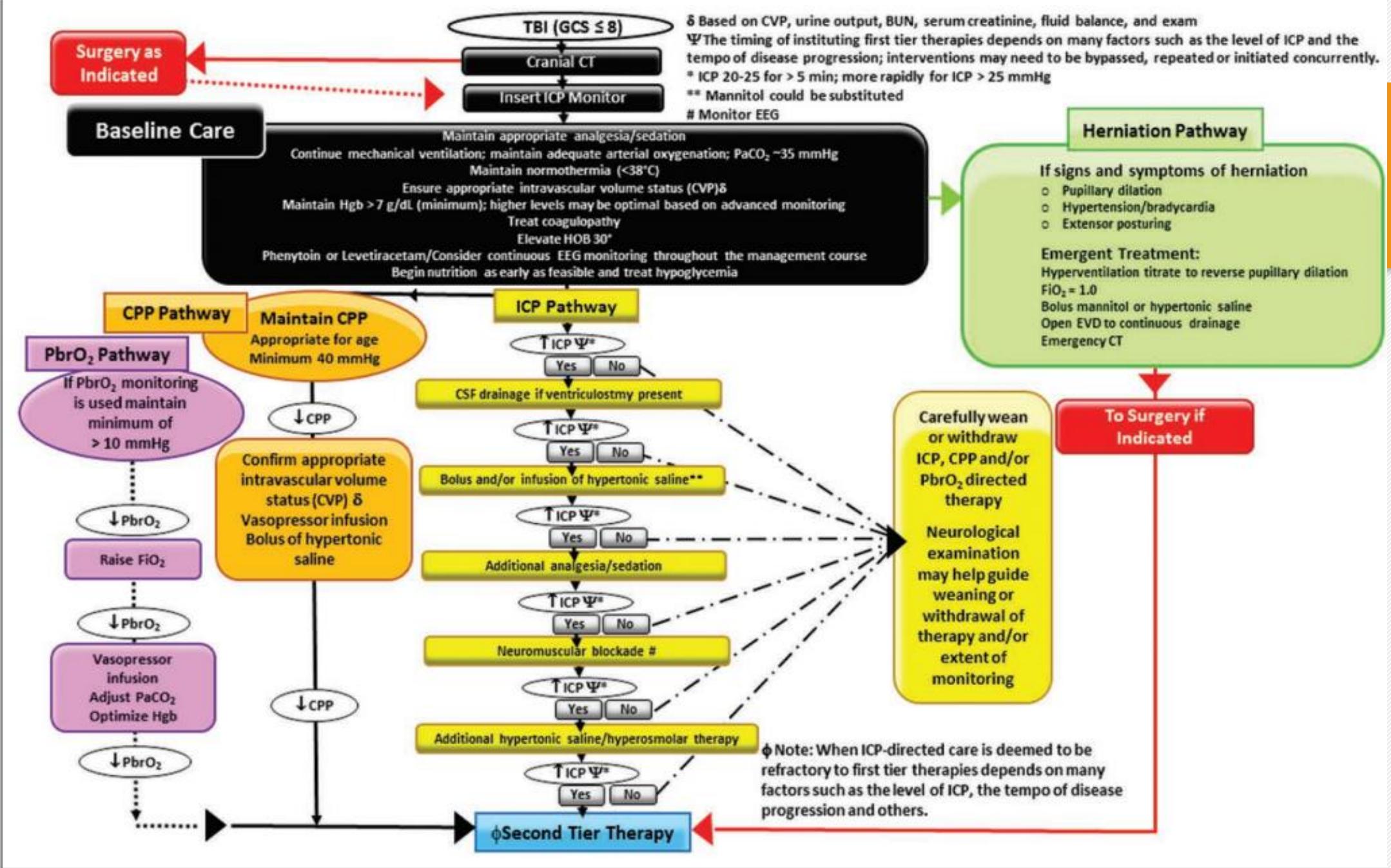
Komplikationen: Hygrome, Hydrocephalus, Pneumonie, Aseptische Knochenresorption, Infektion, Epilepsie

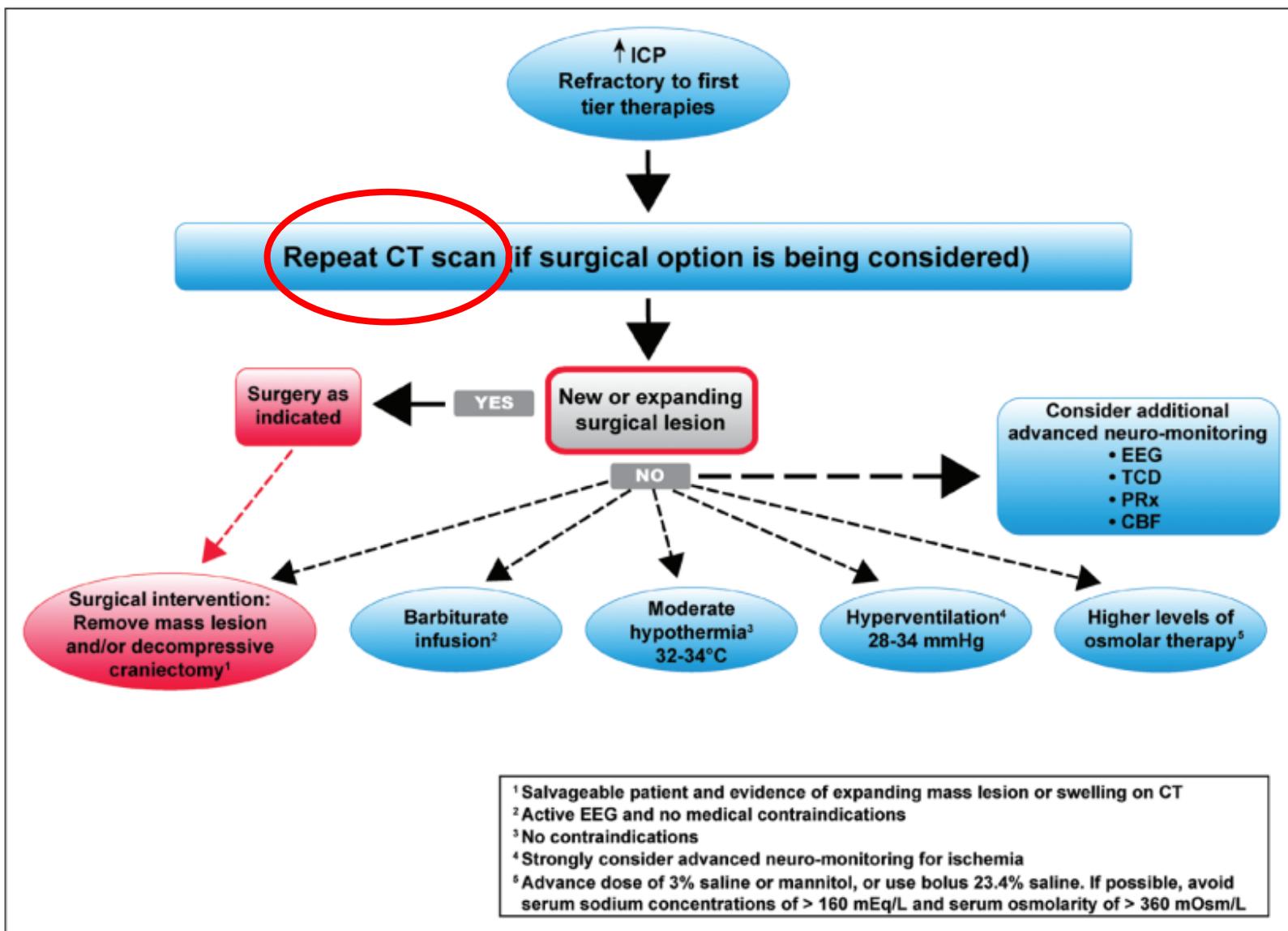
Level III Empfehlung bei neurologischer Verschlechterung, Herniation oder nicht beherrschbarer ICP-Erhöhung

# Kortikoide

Hintergrund: Behandelt die erhöhte Gefäßpermeabilität, Verringert Ödeme und die Liquorproduktion

- Level III Empfehlung gegen den Einsatz von Steroiden (Pneumonie erhöht)
- im Rahmen einer Nebenniereninsuffizienz erlaubt
- Erwachsene: CRASH-Studie Klasse 1 Empfehlung gegen Steroide





# Zusammenfassung- Intensivtherapie Basis

- 30 ° Oberkörper Hochlagerung, Kopf in Neutralstellung
- ruhige Umgebung, minimal Handling, Maßnahmen planen
- Analgosedierung: Dauerinfusion mit Benzodiazepin & Opiat
- Kreislauf: Blutdruck Normalwerte (> p50)
- Beatmung: pCO<sub>2</sub> 35- 40 mmHg
- Kerntemperatur: 36,0- 36,5 °C (aktives Management)
- ICP- Monitoring: ICP < 20 mmHg
- CPP altersabhängig > 40- 60 mmHg
- Antikonvulsive Prophylaxe (Levetiracetam)
- Serumnatrium hochnormal (140- 150 mmol/l)
- EEG Kontrollen oder Dauer-EEG
- Engmaschige Pupillenkontrollen

# Zusammenfassung- ICP Krisen

- Sedierung vertiefen, Relaxierung
- Osmotherapie: NaCl 3 %, Bolus/ Perfusor (Mannitol Bolus)
- Ausreichender CPP gewährleisten  
wenn Externe Ventrikel Drainage- Liquor ablassen
- Beatmung pCO<sub>2</sub> kurzzeitig 30 mmHg (PbrO<sub>2</sub>-Kontrolle)
- Barbiturate
- Moderate Hypothermie
- Dekompressive Kraniotomie

