

Intensivmedizin up2date

3 · 2019

Neuro-Intensivmedizin 3

Zerebrales Monitoring

*Johannes Walter
Andreas W. Unterberg*

VNR: 2760512019156642488

DOI: 10.1055/a-0759-0717

Intensivmedizin up2date 2019; 15 (3): 331–342

ISSN 1614-4856

© 2019 Georg Thieme Verlag KG

Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

Therapeutische Hypothermie in der Neurointensivmedizin

R. Kollmar Heft 1/2019

Hirntod und Umgang mit (potenziellen) Organspendern und Angehörigen

M. N. Ungerer, S. Schönenberger, A. Paula Barreiros, A.-B. Blaes-Eise, A. Rahmel Heft 4/2018

Das Schädel-Hirn-Trauma beim Älteren

J. Walter, A. W. Unterberg Heft 3/2017

Koma – der bewusstseinsgestörte Patient aus neurologischer Sicht

W. Dietrich, T. Finkenzeller Heft 2/2017

Intensivmedizinische Komplikationen autoimmuner Enzephalitiden

A. Günther, J. Schubert, O. Witte, D. Brämer Heft 1/2017

Nicht-Vitamin-K orale Antikoagulanzen in der Klinik

C. Epple, J. Roszkopp, T. Steiner Heft 1/2017

Besonderheiten neurochirurgischer Intensivpatienten

C. Beynon, A. Unterberg Heft 1/2016

Neurothrombektomie – eine neue Ära der Schlaganfallbehandlung

P. Ringleb, M. Möhlenbruch Heft 4/2015

Welche intrazerebralen Blutungen sollte man operativ behandeln?

B. Orakcioglu, A. Unterberg Heft 2/2015

Dekompressive Hemikraniektomie beim malignen Mediainfarkt

H. Neugebauer, E. Jüttler, O. Sakowitz Heft 2/2015

Chirurgische und konservative Therapie traumatischer Rückenmarkverletzungen

K. Zweckberger, A. Younsi, A. Unterberg Heft 1/2015

Souvenir aus den Tropen: intensivpflichtige ZNS-Infektionen

E. Schmutzhard, B. Pfäusler Heft 4/2014

Akute epileptische Anfälle und Status epilepticus beim Erwachsenen

F. Rosenow, A. Strzelczyk, S. Knake Heft 4/2014

Intraventrikuläre Blutungen

S. Wolf, D. Staykov Heft 3/2014

Intrazerebrale Blutung: Update zur Intensivtherapie

R. Kollmar, A. Unterberg, T. Steiner Heft 2/2014

Neuro-Thrombektomie – Mechanische Rekanalisierung akuter zerebraler Gefäßverschlüsse

S. Rohde, O. Jansen, M. Bendszus Heft 1/2014

Epidurale Abszesse und Spondylodiszitis

J. Piek Heft 4/2013

Aktuelle Intensivtherapie der aneurysmatischen Subarachnoidalblutung

B. Orakcioglu, J. Bösel Heft 3/2013

Neurologische Frührehabilitation bei beatmeten Patienten mit ZNS-Störungen

M. Bertram, T. Brandt Heft 1/2013

Persistent Vegetative State versus Minimally Conscious State – Zwei besondere Bewusstseinszustände und ihre Abgrenzung

W. Haupt, N. Galldiks Heft 1/2012

Aktuelle Diagnostik und Therapie des Schlaganfalls

J. Albers, R. Dittich, M. Ritter, E. Ringelstein Heft 4/2011

Septische Enzephalopathie

E. M. Hauer, M. Köhrmann Heft 4/2011

Muskelerkrankungen auf der Intensivstation

W. Müllges Heft 3/2011

Pharmakorefraktärer Status epilepticus

M. Kurthen, D. Schneider Heft 2/2011

Opportunistische Infektionen des ZNS

S. Hähnel, C. Jacobi Heft 1/2011

Einsatz externer Ventrikeldrainagen auf der Intensivstation

U. Prange, M. Kraus, C. Beynon, O. Sakowitz Heft 4/2010

Intensivmedizinische Behandlung neuromuskulärer Erkrankungen

W. Müllges, G. Stoll Heft 3/2009

Psychische Störungen in der Intensivmedizin

P. Lange Heft 1/2009

Myasthene Krise in der Intensivmedizin

T. O. Treuheit Heft 4/2008

Behandlung des raumfordernden Mediainfarkts

E. Jüttler, M. Köhrmann, S. Schwab Heft 3/2008

ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos! <https://eref.thieme.de/intensiv-u2d>

JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt: www.thieme.de/eref-registrierung

Zerebrales Monitoring

Johannes Walter, Andreas W. Unterberg



Die meisten Patienten mit einer kritischen Verletzung oder Erkrankung des Gehirns, die auf einer neurochirurgischen oder neurologischen Intensivstation betreut werden, sind intubiert und teilweise tief analgosediert, werden maschinell beatmet und können somit nicht suffizient klinisch beurteilt werden. Daher gehört die Überwachung der Hirnfunktion dieser Patienten zu einer der wichtigsten Herausforderungen in deren Behandlung.

ABKÜRZUNGEN

CPP	zerebraler Perfusionsdruck
ECoG	Elektrokortikogramm
EEG	Elektroenzephalografie
EVD	externe Ventrikeldrainage
GCS	Glasgow Coma Scale
ICP	intrakranieller Druck
MAP	mittlerer arterieller Druck
PRx	Pressure Reactivity Index
p _{ti} O ₂	Sauerstoffpartialdruck im Gewebe
SAB	Subarachnoidalblutung
SD	Spreading Depolarisations
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
S _{jv} O ₂	jugularvenöse Sauerstoffsättigung
ZNS	zentrales Nervensystem

Einleitung

Zum zerebralen Monitoring stehen moderne invasive und nichtinvasive Methoden zur Verfügung, mit deren Hilfe verschiedene Parameter engmaschig evaluiert werden können. Somit ist eine zeitnahe individuelle Anpassung der Therapie an den klinischen Zustand des Patienten möglich. Der Artikel gibt einen Überblick über die Grundprinzipien des zerebralen Monitorings, die zur Verfügung stehenden Methoden sowie deren aktuellen Stellenwert in der klinischen Routine.

Grundprinzipien

Invasive vs. nichtinvasive Methoden

Zunächst müssen beim zerebralen Monitoring invasive und nichtinvasive Methoden unterschieden werden. Im Rahmen des invasiven Monitorings werden Messsonden bzw. Messkatheter entweder über eine Bohrlochtrepantation intrakraniell platziert, um Veränderungen beispielsweise des intrakraniellen Druckes aufzeichnen zu können. Hierbei können entsprechende Sonden oder Katheter in das Hirnparenchym, die inneren Liquorräume oder in den Subduralraum platziert werden.

Eine weitere Möglichkeit des invasiven Monitorings besteht in der perkutanen Insertion eines Messkatheters in die V. jugularis, um einerseits die jugularvenöse Sättigung als Hinweis auf die zerebrale Oxygenierung zu messen und andererseits Stoffwechselprodukte und deren Konzentrationsänderungen zu detektieren.

Bei nichtinvasiven Methoden werden die Informationen ohne Penetration der Haut gewonnen. Beispiele hierfür sind die transkraniale Sonografie oder die kontinuierliche EEG-Ableitung über Oberflächenelektroden.

Räumliche und zeitliche Auflösung

Ziel des zerebralen Monitorings ist es, beim beatmeten und klinisch nicht zu beurteilenden Patienten kontinuierlich die Funktion des gesamten Gehirns zu überwachen. Einige Verfahren können allerdings nur lokale Veränderungen detektieren, während andere Methoden globale Veränderungen beispielsweise des Hirnmetabolismus aufzeichnen. Des Weiteren ist nicht mit allen Modalitäten eine kontinuierliche, also zeitlich hochaufgelöste Überwachung möglich, da die Messungen punktuell in definierten Zeitabständen erfolgen.

PRINZIP

Die ideale Methode für das zerebrale Monitoring misst folglich kontinuierlich und zeichnet Veränderungen des gesamten Gehirns auf. Allerdings steht eine solche Modalität bisher nicht zur Verfügung. Ein kontinuierliches und gleichzeitig globales Monitoring kann somit nur durch Kombination verschiedener Modalitäten erreicht werden.

Modalitäten

Monitoring des intrakraniellen Druckes

Das Monitoring des intrakraniellen Druckes (ICP) ist eine wichtige Therapiegrundlage des schweren Schädel-Hirn-Traumas (SHT), aber auch der aneurysmatischen Subarachnoidalblutung (SAB) sowie von infektiologischen Erkrankungen wie z. B. der Meningitis [1, 2]. Es stehen hierfür verschiedene Verfahren zur Verfügung.

Externe Ventrikeldrainage

Der Goldstandard der ICP-Messung besteht in der Anlage einer externen Ventrikeldrainage (EVD), einer invasiven Methode mit der Möglichkeit der kontinuierlichen Messung des intrakraniellen Druckes. Hierbei wird zumeist über ein frontal angelegtes Bohrloch ein Drainagekatheter in einen der Seitenventrikel eingelegt. Es stehen Katheter verschiedenen Kalibers mit und ohne antimikrobielle Beschichtungen zur Verfügung. Die Anlage kann in Freihandtechnik anhand anatomischer Landmarken oder navigationsgestützt mittel CT- oder MRT-Navigation erfolgen und ist auch bettseitig auf der Intensivstation möglich. Über eine externe Ventrikeldrainage kann der ICP einerseits kontinuierlich abgeleitet und andererseits durch Drainage von Liquor therapeutisch beeinflusst werden. Des Weiteren ermöglicht sie die unkomplizierte Entnahme von Liquorproben zur mikrobiologischen und laboranalytischen Untersuchung.

Parenchymmesssonde

Als Alternative zur externen Ventrikeldrainage stehen zur ICP-Messung verschiedene Messsonden zur Verfügung, die direkt in das Hirnparenchym eingebracht werden. Auch die Parenchymmesssonde stellt ein invasives Verfahren mit der Möglichkeit der kontinuierlichen Messung dar. Die Anlage einer ICP-Sonde erfolgt typischerweise über eine Bohrlochtrepanation über dem rechten Frontallappen, um bei einer etwaigen Blutungskomplikation das Risiko für die Verletzung von eloquenten Hirnarealen zu minimieren.

Nach der Bohrlochtrepanation und Eröffnung der Dura mater wird die Sonde direkt intraparenchymal platziert, subkutan getunnelt und fixiert (► Abb. 1). Alternativ stehen auch verschiedene Kunststoffschrauben zur Fixie-



► **Abb. 1** CT-Untersuchung bei einem komatösen Patienten nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung. Im rechten Frontallappen ist eine ICP-Messsonde positioniert (weißer Pfeil). Zusätzlich liegt im linken Seitenventrikelvorderhorn eine externe Ventrikeldrainage regelrecht ein (schwarzer Pfeil).

rung der Sonde zur Verfügung. Der Eingriff erfolgt in der Regel bettseitig auf der Intensivstation. Eine therapeutische Beeinflussung des ICP ist mittels ICP-Messsonde nicht möglich; sie ist eine rein diagnostische Maßnahme.

Exkurs Komplikationen

Auch im Hinblick auf die häufigsten drei Komplikationen unterscheiden sich die Modalitäten der externen Ventrikeldrainage (EVD) und der Parenchymmesssonde deutlich [3]:

Eine EVD-assoziierte *Liquorrauminfektion* tritt nach EVD-Anlage in etwa in 10% der Fälle auf, während infektiologische Komplikationen im Rahmen einer ICP-Sondenanlage in weniger als 1% der Fälle beobachtet werden. Mittlerweile stehen antibiotika- und silberbeschichtete EVDs zur Verfügung, welche die Infektionsrate signifikant senken können. Jedoch liegt auch die Infektionsrate dieser speziellen EVDs noch deutlich über der der Parenchymsonden.

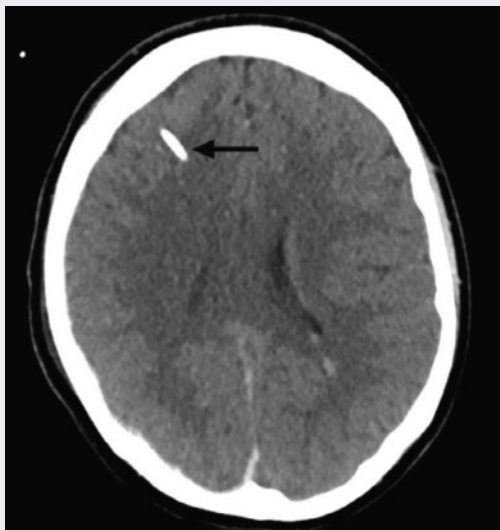
Auch eine *Nachblutung* im Rahmen des invasiven Monitorings des intrakraniellen Druckes tritt deutlich häufiger bei EVD-Anlage als nach Implantation einer Parenchymmesssonde auf: In etwa 10% aller EVD-Anlagen kommt es zu einer Stichkanalblutung, während dies bei Anlage von Parenchymsonden nur in etwa 1% der Fälle auftritt. Allerdings sind weniger als 1% der Stichkanalblutungen im Rahmen einer EVD-Anlage klinisch relevant und bedürfen einer spezifischen Therapie.

FALLBEISPIEL

Fall 1

Eine 24-jährige Patientin wird, nachdem sie in einen Verkehrsunfall verwickelt und in der Folge bei einem GCS von 8 Punkten durch den Notarzt intubiert wurde, in den Schockraum eines Klinikums der Maximalversorgung verbracht. In der initialen CT-Bildgebung zeigt sich lediglich ein minimales akutes Subduralhämatom, sodass zunächst von chirurgischen Maßnahmen abgesehen wird und auf der Intensivstation ein Aufwachversuch erfolgt. Nachdem dieser erfolglos verläuft, wird zur intrakraniellen Druckmessung eine ICP-Messsonde über rechts frontal angelegt (► Abb. 2).

In einer Kontroll-CT-Bildgebung am 1. Tag nach dem Trauma kommt das subdurale Hämatom stabil ohne relevante Raumforderung zur Darstellung, jedoch zeigt sich bereits ein beginnendes generalisiertes Hirnödem. Bei in der Folge über die ICP-Sonde abgeleiteten erhöhten ICP-Werten wird die konservative ICP-Therapie maximal eskaliert, jedoch zeigen sich die ICP-Werte am 4. Tag nach dem Trauma trotz maximaler konservativer Therapie erhöht, sodass eine dekompressive Hemikraniektomie durchgeführt wird. In der Folge sind die ICP-Werte stets normal und die konservative Therapie kann deeskaliert werden. Die Patientin wird beatmet in eine Frührehabilitationseinrichtung verlegt. Drei Monate nach dem Trauma stellt die Patientin sich ohne fokale neurologische Defizite zur Evaluation der Knochendeckelreimplantation in der Ambulanz vor.



► **Abb. 2** CT einer 24-jährigen Patientin mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma. Über rechts frontal liegt eine ICP-Parenchymmesssonde ein (schwarzer Pfeil).

Schließlich muss eine *inkorrekte EVD-Lage* in etwa 10 % der Fälle korrigiert werden. Insbesondere sehr enge Ventrikelsysteme (Schlitzventrikel) und das Vorhandensein einer Mittellinienverlagerung sind hierbei relevante Risikofaktoren. Im Gegensatz dazu muss eine Parenchymsonde lediglich in das Parenchym eingebracht und keine exakte Position erreicht werden; eine Fehllage ist somit kaum möglich.

Zwar weist die EVD somit insgesamt ein deutlich ungünstigeres Komplikationsprofil als die Parenchymmesssonde auf, allerdings hat die EVD den entscheidenden Vorteil, dass über eine korrekt einliegende EVD Liquor drainiert und somit ein erhöhter intrakranieller Druck direkt behandelt werden kann, was dazu führt, dass die EVD weiterhin in den relevanten Guidelines bei komatösem Patienten als Option zur intrakraniellen Druckmessung und Therapie des erhöhten intrakraniellen Druckes empfohlen wird.

Sonografische Bestimmung des Optikuscheidendurchmessers

Die Optikuscheide stellt die Kontinuität der intrakraniellen Dura mater und somit eine direkte Verbindung zu den intrakraniellen Liquorräumen dar. Da die Optikuscheide verformbar ist, verändert sich ihr Durchmesser mit wechselndem intrakraniell Druck. Diese Veränderungen des Optikuscheidendurchmessers können mit der Sonografie erfasst werden.

Das ICP-Monitoring mittels Bestimmung des Optikuscheidendurchmessers hat gegenüber der externen Ventrikeldrainage und der Parenchymmesssonde zwar den Vorteil, dass es sich hierbei um ein nichtinvasives Verfahren handelt, die Messung andererseits aber nicht kontinuierlich erfolgt. Zusätzlich scheint der Optikuscheidendurchmesser zwar mit dem intrakraniellen Druck zu korrelieren, jedoch wurde diese Korrelation bisher nur in kleinen Studien mit sehr inhomogenem Patientengut untersucht. Daher kann die Verwendung als alleiniges Verfahren zum ICP-Monitoring aktuell nicht empfohlen werden [4].

Pupillometer

Eine weitere nichtinvasive Methode, um den ICP zu überwachen, ist die automatisierte Messung der Pupillenweite und des Lichtreflexes mittels Pupillometer. Hierbei wird das Pupillometer auf die Orbita des Patienten aufgesetzt und misst automatisch die Pupillenweite und verschiedene Parameter der Lichtreaktion. Die Messungen erfolgt dabei jeweils getrennt für das linke und das rechte Auge.

Verschiedene Studien konnten zeigen, dass die Messung der Pupillenweite und der Lichtreaktion mittels Pupillometer der herkömmlichen klinischen Bestimmung überlegen ist und so bereits kleinere Veränderungen frühzeitig detektiert werden können [5].

Allerdings ist zu beachten, dass die Pupillometrie einerseits keine kontinuierliche Überwachung des ICP ermöglicht und so kurze ICP-Krisen nicht erfasst werden können, und die Veränderungen der Pupillenweite als Zeichen der zerebralen Einklemmung bereits Spätfolgen des erhöhten ICP darstellen. Daher ist die Pupillometrie als alleinige Methode zur Überwachung des ICP ungeeignet.

Transkranieller Ultraschall

Die transkranielle Duplexsonografie findet neben der Bestimmung des Optikusscheidendurchmessers noch vielfältige weitere Anwendungen im Rahmen des multimodalen intrakraniellen Monitorings. Auf die häufigsten wird im Folgenden eingegangen.

Beurteilung der Ventrikelweite, der Mittellinienverlagerung und oberflächlicher Raumforderungen

Bei suffizientem transkraniell Schallfenster und Untersuchungsexpertise ist mittels Sonografie eine effiziente, nichtinvasive Beurteilung der Ventrikelweite (► **Abb. 3**) ohne Strahlenbelastung möglich, um z. B. einen posthämorrhagischen Hydrozephalus als Ursache eines erhöhten intrakraniellen Druckes zu detektieren. Werden serielle Untersuchungen durchgeführt, kann so eine Verlaufsbeobachtung erfolgen, die meist relevanter ist als einmalig bestimmte Absolutwerte.

Neben der Ventrikelweite kann auch die Position des Septum pellucidum und somit eine mögliche Mittellinienverlagerung beurteilt werden. Zusätzlich ist eine Beurteilung oberflächlicher Raumforderungen, z. B. eines subduralen Hämatoms, möglich.

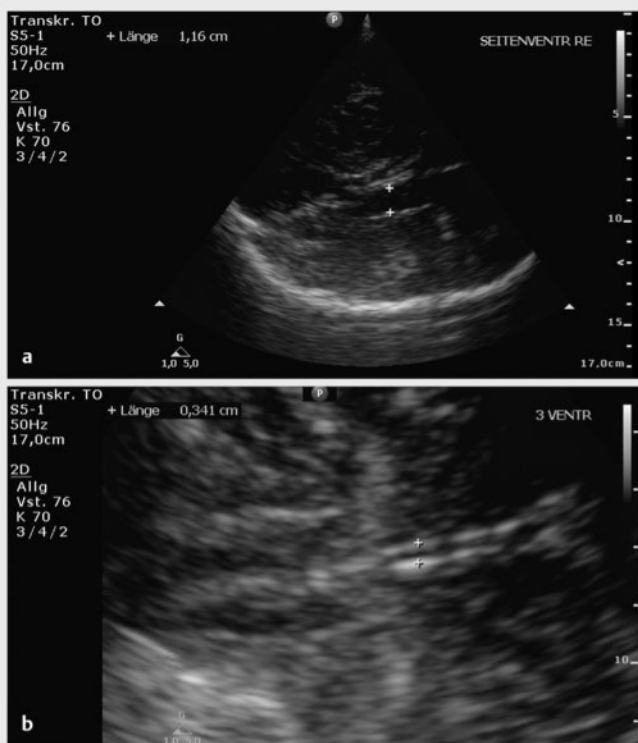
STELLENWERT

Allen genannten Anwendungen ist jedoch gemein, dass sie ein suffizientes transkranielles Schallfenster voraussetzen, das nicht in jedem Fall gegeben und abhängig von der Dicke der Kalotte des Patienten ist. Daher ist die Anwendung der Sonografie zur Beurteilung der genannten Parameter vor allem bei kraniotomierten Patienten besonders sinnvoll – also bei Patienten, denen ein Teil der Kalotte, z. B. im Rahmen einer dekompressiven Hemikraniotomie, entfernt wurde.

Detektion verzögerter Durchblutungsstörungen

Eine weitere wichtige Anwendung der transkraniellen Sonografie ist die Detektion möglicher verzögerter Durchblutungsstörungen aufgrund von Vasospasmen beispielsweise nach aneurysmatischer Subarachnoidalblutung. Hierfür werden die Flussgeschwindigkeiten der großen hirnbasisnahen Gefäße mittels transkranieller Doppler-Sonografie bestimmt und deren Absolutwerte und Verläufe überwacht. Insbesondere für die A. cerebri media und die A. basilaris sind dabei Grenzwerte zur Vorhersage von Vasospasmen etabliert worden: Im Bereich der A. cerebri media spricht eine mittlere Flussgeschwindigkeit von über 120 cm/s für das Vorliegen eines Vasospasmus von mehr als 25% des Gefäßdurchmessers, während im Bereich der A. basilaris eine Flussgeschwindigkeit von über 95 cm/s für eine Reduktion des Gefäßdurchmessers von mehr als 50% spricht.

Die Sensitivität der Detektion von Vasospasmen im Bereich der A. cerebri anterior und A. cerebri posterior ist im Vergleich zu den genannten Gefäßen deutlich geringer und daher klinisch nicht relevant.

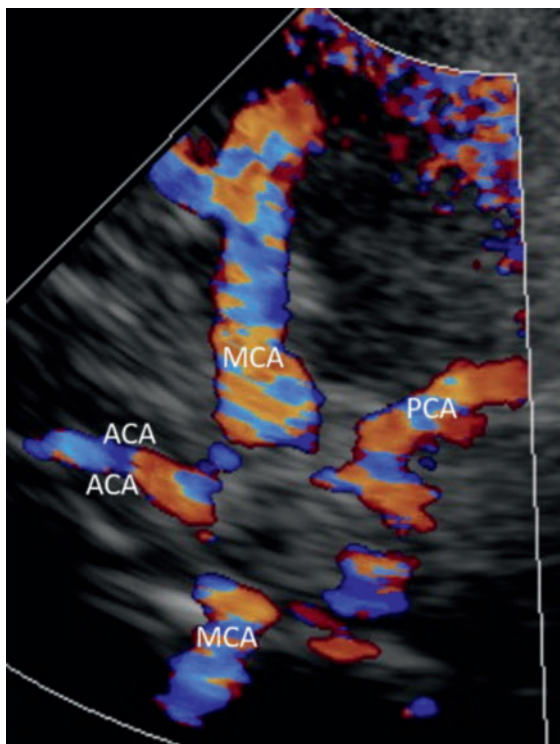


► **Abb. 3** Transkranielle Ventrikelsonografie.
a Beurteilung eines Seitenventrikels.
b Beurteilung des 3. Ventrikels.

Ein weiterer wichtiger dopplersonografischer Parameter zur Beurteilung möglicher zerebraler Vasospasmen ist der *Lindegaard-Index*, der zwischen einer Hyperämie und zerebralen Vasospasmen als Ursache einer Erhöhung der Flussgeschwindigkeit der A. cerebri media unterscheiden kann. Er wird mittels Division der mittleren Flussgeschwindigkeiten der A. cerebri media und der ipsilateralen A. carotis externa bestimmt. Ein Lindegaard-Index von unter 3 kann auf eine zerebrale Hyperämie hinweisen, da in diesem Fall beide Flussgeschwindigkeiten erhöht sind. Ein Lindegaard-Index von 3–6 kann auf leichte, ein Lindegaard-Index von 6 oder mehr auf moderate bis schwere Vasospasmen hinweisen.

Einschränkend ist zu erwähnen, dass die transkraniale Doppler-Sonografie sehr untersucherabhängig ist und lediglich eine mögliche Ursache verzögerter Durchblutungsstörungen, nämlich den Vasospasmus, beurteilt. Allerdings ist seit Langem bekannt, dass vielfältige pathophysiologische Prozesse eine Rolle in der Entstehung verzögerter Durchblutungsstörungen spielen, sodass die transkraniale Doppler-Sonografie nicht als alleiniges Monitoring-Tool, sondern vielmehr in Kombination mit anderen Modalitäten im Rahmen eines multimodalen Monitorings angewendet werden sollte [6].

► **Abb. 4** und **Abb. 5** zeigen Beispiele.



► **Abb. 4** Darstellung des Circulus Willisii mittels transkraniieller Sonografie. Man erkennt die beidseitigen M1-Segmente der Aa. cerebri mediae (MCA), die A2-Segmente der Aa. cerebri anteriores (ACA) und das P1- und P2-Segment der ipsilateralen A. cerebri posterior (PCA).

Monitoring der Sauerstoffversorgung des Gehirns

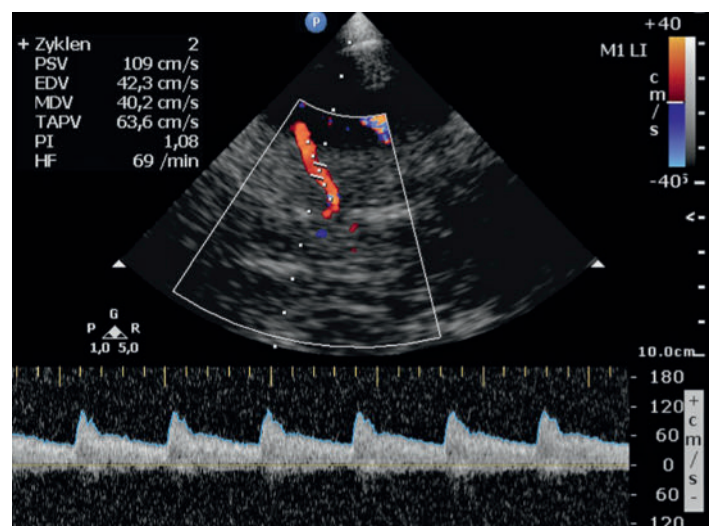
Ein weiteres Ziel in der Behandlung des schweren Schädel-Hirn-Traumas sowie in der Diagnostik von Vasospasmen und verzögert aufgetretenen Ischämien nach einer aneurysmatischen Subarachnoidalblutung ist die Überwachung der zerebralen Sauerstoffversorgung, die lokal, aber auch global gemessen werden kann.

Parenchymmesssonde

Wie der ICP kann auch die Sauerstoffversorgung des Gehirns mittels Parenchymmesssonde überwacht werden. Es stehen verschiedene Sonden zur Verfügung, die zum Teil gleichzeitig kontinuierlich den Sauerstoffpartialdruck im an die Sondenspitze angrenzenden Hirngewebe ($p_{ti}O_2$) und den ICP aufzeichnen. Die Anlage der Sonde erfolgt analog zur Anlage einer ICP-Messsonde, allerdings ist die Lokalisation der $p_{ti}O_2$ -Sonde entscheidend, da nur der $p_{ti}O_2$ des an die Sondenspitze angrenzenden Hirngewebes gemessen werden kann. Würde die $p_{ti}O_2$ -Sonde beispielsweise direkt in ein Nekroseareal einer Kontusion platziert werden, würde sie stets sehr niedrige Werte messen und Veränderungen der Sauerstoffversorgung der für die Therapie entscheidenden Penumbra würden übersehen.

Daraus folgen zwei sinnvolle Positionen der $p_{ti}O_2$ -Sonde:

- Einerseits kann die Sonde beim Schädel-Hirn-Trauma z. B. in die Penumbra einer Kontusion oder im Rahmen einer aneurysmatischen Subarachnoidalblutung in die Grenzzone zweier Gefäßversorgungsterritorien platziert werden, um die Sauerstoffversorgung im von einer sekundären Schädigung gefährdeten Parenchym zu beurteilen und ein Fortschreiten des Sekundärscha-



► **Abb. 5** Transkraniale Duplexsonografie der A. cerebri media mit grafischer Darstellung des typischen Flussprofils und verschiedener Parameter der Flussgeschwindigkeit.

dens möglichst frühzeitig zu detektieren. Wird die $p_{ti}O_2$ -Sonde in der Penumbra platziert, misst sie nur lokale Veränderungen, die nicht direkt auf die Sauerstoffversorgung des restlichen Hirngewebes übertragen werden können.

- Platziert man die $p_{ti}O_2$ -Sonde allerdings distant zur primären Schädigung im gesunden Hirngewebe, können die Messwerte auf die Sauerstoffversorgung des gesamten Hirngewebes hinweisen, die Messung also als global angesehen werden.

Es ist auch eine Kombination zweier Sonden möglich: Eine Sonde wird in der Penumbra, die andere im gesunden Hirngewebe distant zur primären Schädigung platziert, um sowohl globale Informationen über die Sauerstoffversorgung des Hirngewebes als auch lokale Informationen über das Fortschreiten des Sekundärschadens zu erhalten.

Jugularvenenkatheter

Da ein Großteil des venösen Blutrückstroms aus dem Gehirn über die jeweilige V. jugularis interna erfolgt, können durch die Messung der jugularvenösen Sauerstoffsättigung ($S_{jv}O_2$) Rückschlüsse hinsichtlich des Sauerstoffbedarfs und des Sauerstoffangebotes in der jeweiligen Hemisphäre gezogen werden. Die Messung der $S_{jv}O_2$ erfolgt kontinuierlich mittels perkutan in die V. jugularis interna eingebrachtem Katheter. Dabei können theoretisch auch bilateral Katheter eingebracht und somit ein globales und kontinuierliches Monitoring erreicht werden.

Cave

Mögliche Komplikationen des Einbringens von Jugularvenenkathetern sind

- die Punktion der A. carotis interna und
- Thrombosen der V. jugularis interna, die, sofern sie eine relevante Reduktion des venösen Blutrückstroms aus dem Gehirn verursachen, durchaus klinisch relevant werden können, da auf diese Weise Erhöhungen des intrakraniellen Druckes resultieren können.

Der Normbereich der $S_{jv}O_2$ liegt zwischen 55% und 75%. Sowohl ein Abfall als auch eine Erhöhung der $S_{jv}O_2$ können einen Hinweis auf kritische Veränderungen des Hirnparenchyms darstellen: Fällt die jugularvenöse Sättigung ab, kann dies einerseits als Hinweis auf eine Sauerstoffminderversorgung beispielsweise aufgrund einer kritisch beeinträchtigten Hirndurchblutung oder eines erhöhten Sauerstoffbedarfs des Parenchyms gewertet werden. Einem pathologischen Anstieg der $S_{jv}O_2$ über 75% können eine pathologische Hyperämie oder ein reduzierter Sauerstoffbedarf beispielsweise durch Zelltod oder Mitochondrienfunktion zugrunde liegen.

STELLENWERT

Insgesamt ist die Interpretation der $S_{jv}O_2$ -Messung jedoch problematisch, da die venöse Drainage häufig nicht symmetrisch erfolgt, sondern in den meisten Fällen eine Seitenbetonung vorliegt. Somit ist eine Deutung von unilateralen Veränderungen der $S_{jv}O_2$ schwierig. Zusätzlich ist eine Verringerung der $S_{jv}O_2$ zwar durchaus als spezifischer Hinweis auf eine Minderversorgung des Gehirns zu werten, jedoch ist die Sensitivität der Messung relativ gering, sodass Episoden klinisch relevanter Minderperfusion übersehen werden können [7].

Monitoring des zerebralen Stoffwechsels

Neben dem Monitoring des ICP und der Sauerstoffversorgung des Gehirns ist auch die Überwachung des zerebralen Stoffwechsels ein wichtiger Bestandteil des multimodalen Neuromonitorings. Auch hierfür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

Mikrodialyse

Merke

Die zerebrale Mikrodialyse stellt die wichtigste Methode zur Überwachung des zerebralen Stoffwechsels dar.

Hierfür wird ein spezieller Mikrodialysatkatheter in das Parenchym eingebracht. Die Katheterspitze ist mit einer semipermeablen Membran ausgestattet, über die endogene Stoffwechselprodukte in das Katheterlumen diffundieren. Durch konstante Spülung mit einer Spülflüssigkeit, die in ihrer Zusammensetzung dem körpereigenen Liquor entspricht, kann ein Dialysat der Stoffwechselprodukte gewonnen und anschließend analysiert werden. Klassischerweise musste das Dialysat an einem separaten Gerät seriell untersucht werden, jedoch ist mittlerweile auch eine kontinuierliche Messung möglich.

Limitierend ist zu erwähnen, dass durch die Mikrodialyse der zerebrale Stoffwechsel nur in einem kleinen Areal um die Katheterspitze überwacht werden kann, sodass die korrekte Positionierung der Katheterspitze analog zur Anlage einer $p_{ti}O_2$ -Messsonde von großer Bedeutung ist. Auch hier gilt, dass die Positionierung der Mikrodialyse-sonde im gesunden Hirngewebe globale Informationen über den Stoffwechsel des Hirnparenchyms liefern kann, während eine Positionierung in der Penumbra der primären Schädigung vor allem lokale Informationen über das Fortschreiten des Sekundärschadens generiert. Wie auch im Falle der $p_{ti}O_2$ -Sonden können theoretisch die Vorteile beider Sondenpositionen kombiniert werden, indem zwei Sonden in den entsprechenden Gewebearealen positioniert werden.

TIPP

Prinzipiell können mittels Mikrodialyse Konzentrationsänderungen jeglicher Substanzen und Stoffwechselprodukte nachgewiesen werden, jedoch liegt der intensivmedizinische Fokus vor allem auf der Überwachung von Glukose-, Laktat-, Pyruvat-, Glycerin- und Glutamatspiegeln [8].

Glukosestoffwechsel

Glukose, Laktat und Pyruvat sind wichtige Metaboliten des Glukosestoffwechsels. Die Analyse ihrer Konzentrationen können Informationen über den zerebralen Energiehaushalt liefern. Sinkt die zerebrale Glukosekonzentration und Glukose wird vermehrt zu Laktat statt zu Pyruvat verstoffwechselt – das Laktat-Pyruvat-Verhältnis verschiebt sich also zugunsten von Laktat –, kann dies ein Hinweis auf eine zerebrale Minderversorgung mit Substraten z. B. im Rahmen einer Ischämie, einer verminderten Oxygenierung oder einer Dysfunktion der neuronalen Mitochondrien sein.

Glutamat

Glutamat ist ein wichtiger Transmitter im Rahmen der zellulären Erregung. Daher wird die extrazelluläre Konzentration im Gehirn durch schnelle Wiederaufnahme durch Astrozyten in engem Rahmen konstant gehalten, was allerdings einen hohen Energieaufwand erfordert. Ist dieser nicht mehr zu bewältigen, steigt die extrazelluläre Glutamatkonzentration an. Das kann einerseits als Zeichen unzureichender Energieversorgung und andererseits als mögliche Vorstufe einer potenziell schädlichen Übererregung gewertet werden.

Glycerin

Glycerin schließlich ist ein Abbauprodukt nach Zerfall von Zellmembranen. Daher kann ein Anstieg der Glycerinkonzentration als Zeichen des vermehrten Zelluntergangs angesehen werden.

Monitoring der elektrischen kortikalen Aktivität

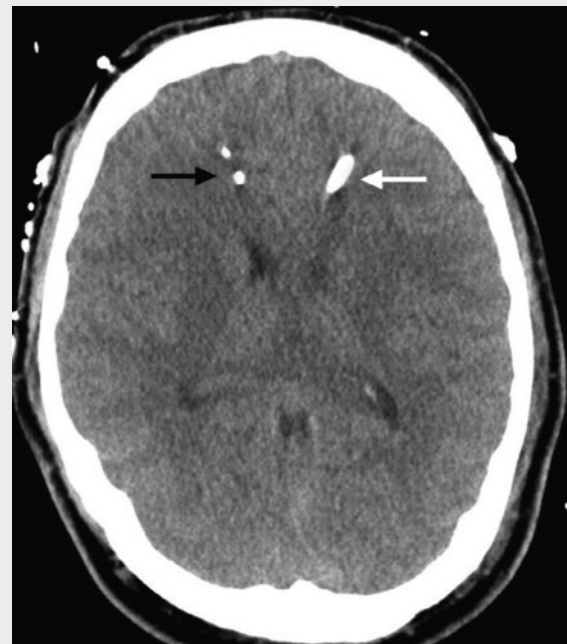
Als Folge eines Missverhältnisses von Energieangebot und -verbrauch im Hirngewebe kommt es nachweislich im Rahmen von verschiedenen ZNS-Pathologien wie z. B. dem schweren Schädel-Hirn-Trauma, der aneurysmatischen Subarachnoidalblutung, der intrazerebralen Blutung oder dem ischämischen Schlaganfall zu einem plötzlichen und nahezu vollständigen Zusammenbruch der Ionengradienten über die neuronale Zellmembran. Als Folge breiten sich ausgeprägte Depolarisationen, sogenannte Spreading Depolarisations (SD), über den Kortex, aus. Während SD im gesunden Hirngewebe eine Hyper- oder Oligämie auslösen, haben sie im vorgeschädigten Hirngewebe zum Teil schwere Ischämien mit konsekutivem Zelluntergang zur Folge. Da diese SD-abhängige Ischämie

FALLBEISPIEL 2

Ein 35-jähriger Patient wird im häuslichen Umfeld von seiner Ehefrau komatös aufgefunden und mit Notarztbegleitung umgehend in ein Zentrum der Maximalversorgung verbracht. Die initiale CT-Bildgebung des Schädels mit CT-Angiografie zeigt eine aneurysmatische Subarachnoidalblutung; als Blutungsquelle kann ein etwa 6 mm messendes Aneurysma der rechtsseitigen A. cerebri media nachgewiesen werden.

Zur Therapie des akuten Hydrozephalus wird eine externe Ventrikel-drainage angelegt und anschließend nach interdisziplinärer Konferenz am selben Tag das Aneurysma mittels Clipping operativ versorgt. Anschließend verläuft der postoperative Aufwachversuch auf der Intensivstation frustan, woraufhin die Indikation zur Erweiterung des invasiven intrakraniellen Monitorings um eine kombinierte p_{tiO_2} - und Mikrodialysesonde gestellt und diese in die rechts frontale Grenzzone der Versorgungsgebiete der A. cerebri anterior und A. cerebri media positioniert wird (► Abb. 6).

Am 8. postoperativen Tag fallen die p_{tiO_2} -Werte nach zuvor unauffälligem Verlauf kontinuierlich trotz Anhebung des MAP über mehrere Stunden ab und auch das Laktat/Pyruvat-Verhältnis verschiebt sich zugunsten von Laktat, sodass bei V. a. klinisch relevante zerebrale Vasospasmen mit konsekutiver Minderdurchblutung die Indikation zur CT-Perfusionsbildgebung gestellt wird. In der Perfusionsbildgebung zeigt sich ein Perfusionsdefizit in der rechtsseitigen frontalen Grenzzone zwischen dem Anterior- und Medialstromgebiet, sodass eine digitale Subtraktionsangiografie durchgeführt wird. Hier zeigen sich hochgradige Engstellen mehrerer Mediaäste, die sich nach der intraarteriellen Nimodipin-Applikation zurückbilden.



► **Abb. 6** CT-Bildgebung nach Implantation einer EVD über links frontal (weißer Pfeil) und einer kombinierten p_{tiO_2} - und Mikrodialysesonde über rechts frontal (schwarzer Pfeil, eine kombinierte Sonde mit zwei Sondenspitzen).

gleichförmig zur Ausbreitung der SDs auftritt, wird sie Spreading Ischemia genannt [9].

Spreading Depolarisations können im klinischen Setting mittels Oberflächenelektroden, welche entweder im Rahmen einer Kraniotomie, z. B. zur Hämatomevakuierung, oder über eine Bohrlochtrepanation auf den Kortex aufgebracht werden, mit sehr hoher zeitlicher Auflösung detektiert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht im Einbringen einer Parenchymelektrode, die über eine Bohrlochtrepanation eingebracht werden kann. Schließlich können SD auch über den Nachweis einer abrupten Konzentrationsänderung exzitatorischer Transmitter wie z. B. Glutamat mittels Mikrodialyse detektiert werden, jedoch ist die zeitliche Auflösung dieser Methode der der ECoG um ein Vielfaches unterlegen.

Indirekte Monitoringparameter

Grundsätzlich besteht eines der Hauptziele bei Patienten mit schweren Erkrankungen oder Verletzungen des ZNS, welche eine intensivmedizinische Betreuung notwendig machen, darin, die Hirndurchblutung und somit die Substratversorgung des Hirngewebes aufrechtzuerhalten. Die Hirndurchblutung steht in direktem Zusammenhang mit dem zerebralen Perfusionsdruck (CPP), der wiederum die Differenz aus mittlerem arteriellem Druck (MAP) und ICP darstellt, sodass der CPP zwar nicht direkt gemessen, aber errechnet werden kann. In vielen Studien konnte gezeigt werden, dass sowohl ein zu niedriger als auch ein zu hoher CPP einen negativen Einfluss auf das Outcome hat. Deshalb gibt beispielsweise die wichtigste Leitlinie zur Behandlung des schweren Schädel-Hirn-Traumas einen Zielwert von 60–70 mmHg vor [1].

Allerdings konnte in neueren Studien gezeigt werden, dass der optimale zerebrale Perfusionsdruck zeitabhängig ist, also zu verschiedenen Zeitpunkten im Verlauf der Erkrankung unterschiedliche CPPs angestrebt werden sollten [10]. Dies liegt vor allem an der zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich stark beeinträchtigten zerebralen Autoregulation. Die zerebrale Autoregulation beschreibt dabei die Fähigkeit des zerebralen Gefäßsystems, den CPP in einem weiten MAP-Bereich konstant zu halten. Ist die zerebrale Autoregulation, wie z. B. häufig nach einem schweren Schädel-Hirn-Trauma der Fall, beeinträchtigt, ist dies nicht mehr möglich.

Der „Pressure Reactivity Index“ (PRx) ist der Monitoringparameter, der den Zustand der zerebralen Autoregulation beschreibt. Er kann ebenfalls nicht direkt gemessen werden, sondern ist der Korrelationskoeffizient von 40 aufeinanderfolgenden 5-Sekunden-Durchschnittswerten von ICP und MAP. Er muss somit stets neu berechnet werden und unterliegt dynamischen Veränderungen. Mithilfe des PRx kann durch ein Rechenmodell dynamisch der in der jeweiligen Situation optimale CPP berechnet werden.

Insgesamt stellt die dynamische Bestimmung von PRx und dem optimalen CPP hohe infrastrukturelle Anforderungen an die Intensivstation und bedarf einer hohen Rechenleistung, sodass die Implementierung in den klinischen Alltag bisher nur spezialisierten Zentren vorbehalten ist.

Limitationen

Es existiert zwar eine Vielzahl an klinischen Studien, die den Einsatz des multimodalen zerebralen Monitorings im Rahmen der Behandlung verschiedener Erkrankungen und Verletzungen des ZNS evaluieren. Mit wenigen Ausnahmen liegen jedoch keinerlei große randomisierte, kontrollierte klinische Studien vor, die einen Nutzen des zerebralen Monitorings im Hinblick auf das Outcome nachweisen [11]. Folgerichtig empfiehlt bisher lediglich die wichtigste Leitlinie zur Behandlung des schweren Schädel-Hirn-Traumas den Einsatz von ICP- und CPP-Monitoring sowie der Bestimmung der jugularvenösen Sättigung [1].

Keine der weiteren in diesem Artikel genannten Modalitäten sind aktuell Bestandteil von Leitlinien zur Behandlung von Patienten mit Erkrankungen oder Verletzungen des ZNS. Ihr Einsatz erscheint im Hinblick auf verbesserte Therapieentscheidungen und besseres Outcome zwar vielversprechend, kann jedoch aktuell nicht als Versorgungsstandard angesehen werden und sollte nur an spezialisierten Zentren angewendet werden, die sowohl mit der Implementierung und dem Handling der jeweiligen Messinstrumente als auch mit der Interpretation der gewonnenen Daten vertraut sind.

Zusammenfassung

Die Überwachung von aufgrund einer Schädigung des ZNS oder aufgrund einer tiefen Analgosedierung klinisch nicht zu beurteilenden Patienten ist weiterhin eine der größten Herausforderungen der Neurointensivmedizin. Mittlerweile steht eine Vielzahl an invasiven und nicht-invasiven Monitoringoptionen zur Verfügung, um verschiedene Parameter wie den intrakraniellen Druck, die Sauerstoffversorgung des Hirnparenchyms sowie Hirnstoffwechsel und dessen Aktivität zu überwachen.

Merke

Der gleichzeitige Einsatz verschiedener Methoden, also die Implementierung eines multimodalen Monitorings, macht es möglich, der idealen kontinuierlichen und globalen Überwachung möglichst nahe zu kommen.

Insgesamt steht mit Ausnahme des schweren Schädel-Hirn-Traumas jedoch keine belastbare Datengrundlage zum Einsatz des multimodalen Monitorings und dessen Nutzen für individuelle Therapieentscheidungen und das

Outcome zur Verfügung, sodass der Einsatz trotz vielversprechender Erfahrungen bei der Behandlung verschiedener Pathologien des ZNS wie z.B. der aneurysmatischen Subarachnoidalblutung lediglich in der wichtigsten Leitlinie zur Behandlung des schweren Schädel-Hirn-Traumas empfohlen wird.

AUSBLICK

Eines der Hauptziele wird in der Zukunft darin liegen, die durch das multimodale Monitoring gewonnenen Daten korrekt zu interpretieren und in effektive individuelle Therapiekonzepte zu übertragen, die schließlich das Outcome der Patienten verbessern können.

KERNAUSSAGEN

- Die Beurteilung von intubierten und analgosedierten Patienten ist weiterhin eine der wichtigsten Herausforderungen der Neurointensivmedizin.
- Zur Beurteilung der Hirnfunktion steht eine Vielzahl an invasiven und nichtinvasiven Verfahren zur Verfügung.
- Die Verfahren unterscheiden sich bezüglich ihrer örtlichen (lokal vs. global) und zeitlichen (intermittierend vs. kontinuierlich) Auflösung.
- Durch die Kombination verschiedener Verfahren kann eine möglichst kontinuierliche und globale Überwachung erreicht werden.
- Die wichtigsten Monitoringparameter sind
 - der intrakranielle Druck (ICP),
 - die Parenchymsauerstoffkonzentration (p_{tiO_2}),
 - die Flussgeschwindigkeiten der zerebralen Gefäße,
 - die elektrische Hirnaktivität,
 - anatomische Parameter wie Ventrikelweite und Blutungsausdehnung sowie
 - verschiedene Parameter des Hirnstoffwechsels.
- Die Hauptindikationen sind das schwere Schädel-Hirn-Trauma und die aneurysmatische Subarachnoidalblutung, wobei ein Einsatz im Rahmen weiterer z. B. entzündlicher Pathologien des zentralen Nervensystems sinnvoll erscheint und zunehmend untersucht wird.
- Therapieziele verändern sich im Verlauf der Erkrankungen dynamisch und erfordern individuelle Anpassungen der Therapie.
- Der Nutzen des multimodalen Monitorings im Hinblick auf das Outcome ist bisher nicht sicher belegt worden. Daher wird es bisher lediglich in der Leitlinie zur Behandlung des schweren Schädel-Hirn-Traumas empfohlen.
- Das Handling der Instrumente und die Interpretation der gewonnenen Daten erfordert Erfahrung und Expertise. Das multimodale Monitoring sollte daher nur in spezialisierten Zentren eingesetzt werden.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Autorinnen/Autoren



Johannes Walter

Dr. med. 2009–2015 Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München. 2012–2016 Doktorand am Institut für Schlaganfall- und Demenzforschung in München, Forschungsthema: Beeinflussung des sekundären Hirnschadens nach experimentellem Schädel-Hirn-Trauma im Tiermodell. Seit 2016 Assistenzarzt an der Neurochirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Heidelberg. Forschungsschwerpunkt: Sekundärschaden nach experimentellem Schädel-Hirn-Trauma und aneurysmatische Subarachnoidalblutung.



Andreas W. Unterberg

Prof. Dr. med., Facharzt für Neurochirurgie. 1974–1981 Studium der Humanmedizin in Gießen und München. 1981–1985 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Chirurgische Forschung, Ludwig-Maximilians-Universität, München. 1982 Promotion, 1988 Habilitation. 1985–1986 Research Fellow, Division of Neurological Surgery, Medical College Virginia, Richmond, Virginia, USA. 1995–2003 Stellvertretender Direktor der Klinik für Neurochirurgie, Charité, Berlin. Seit April 2003 Direktor der Neurochirurgischen Klinik, Universitätsklinikum Heidelberg.

Korrespondenzadresse

Dr. med. Johannes Walter

Neurochirurgische Klinik
Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld
69120 Heidelberg
Johannes.Walter@med.uni-heidelberg.de

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Dr. med. Johannes Walter, Heidelberg.

Literatur

- [1] Carney N, Totten AM, O'Reilly C et al. Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery* 2017; 80: 6–15. doi:10.1227/NEU.0000000000001432
- [2] Tariq A, Aguilar-Salinas P, Hanel RA et al. The role of ICP monitoring in meningitis. *Neurosurg Focus* 2017; 43: E7. doi:10.3171/2017.8.FOCUS17419
- [3] Tavakoli S, Peitz G, Ares W et al. Complications of invasive intracranial pressure monitoring devices in neurocritical care. *Neurosurg Focus* 2017; 43: E6. doi:10.3171/2017.8.FOCUS17450
- [4] Robba C, Santori G, Czosnyka M et al. Optic nerve sheath diameter measured sonographically as non-invasive estimator of intracranial pressure: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2018; 44: 1284–1294. doi:10.1007/s00134-018-5305-7
- [5] Phillips SS, Mueller CM, Nogueira RG et al. A Systematic Review Assessing the Current State of Automated Pupillometry in the NeuroICU. *Neurocrit Care* 2018. doi:10.1007/s12028-018-0645-2
- [6] Naqvi J, Yap KH, Ahmad G et al. Transcranial Doppler ultrasound: a review of the physical principles and major applications in critical care. *Int J Vasc Med* 2013; 2013: 629378. doi:10.1155/2013/629378
- [7] Stocchetti N, Magnoni S, Zanier ER. My paper 20 years later: cerebral venous oxygen saturation studied with bilateral samples in the internal jugular veins. *Intensive Care Med* 2015; 41: 412–417. doi:10.1007/s00134-015-3650-3
- [8] Helbok R, Kofler M, Schiefecker AJ et al. Clinical Use of Cerebral Microdialysis in Patients with Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage-State of the Art. *Front Neurol* 2017; 8: 565. doi:10.3389/fneur.2017.00565
- [9] Dreier JP, Fabricius M, Ayata C et al. Recording, analysis, and interpretation of spreading depolarizations in neurointensive care: Review and recommendations of the COSBID research group. *J Cereb Blood Flow Metab* 2017; 37: 1595–1625. doi:10.1177/0271678X16654496
- [10] Depreitere B, Guiza F, Van den Berghe G et al. Pressure autoregulation monitoring and cerebral perfusion pressure target recommendation in patients with severe traumatic brain injury based on minute-by-minute monitoring data. *J Neurosurg* 2014; 120: 1451–1457. doi:10.3171/2014.3.JNS131500
- [11] Le Roux P, Menon DK, Citerio G et al. The International Multidisciplinary Consensus Conference on Multimodality Monitoring in Neurocritical Care: a list of recommendations and additional conclusions: a statement for healthcare professionals from the Neurocritical Care Society and the European Society of Intensive Care Medicine. *Neurocrit Care* 2014; 21 Suppl 2: S282–S296. doi:10.1007/s12028-014-0077-6

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0759-0717>
Intensivmedizin up2date 2019; 15: 331–342
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 1614-4856

Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist in der Regel 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Den genauen Einsendeschluss finden Sie unter <https://eref.thieme.de/CXBY6EH>. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter <https://cme.thieme.de/hilfe> eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter <https://eref.thieme.de/CXBY6EH> oder über den QR-Code kommen Sie direkt zur Startseite des Wissenstests.

VNR 2760512019156642488



Frage 1

Welches Verfahren ist zur Beurteilung des intrakraniellen Druckes *nicht* geeignet?

- A externe Ventrikeldrainage
- B Parenchymmesssonde
- C Mikrodialysekatheter
- D sonografische Bestimmung des Optikusseidendurchmessers
- E Pupillometer

Frage 2

Welche der Aussagen zur Anlage einer externen Ventrikeldrainage (EVD) ist korrekt?

- A Sie weist ein deutlich günstigeres Komplikationsprofil als die Parenchymmesssonde auf.
- B Sie ermöglicht die therapeutische Beeinflussung des erhöhten intrakraniellen Druckes.
- C Der Materialbruch stellt die wichtigste Komplikation dar.
- D Für die Anlage einer externen Ventrikeldrainage ist eine Kraniotomie notwendig.
- E Der Einsatz einer externen Ventrikeldrainage wird in keiner Leitlinie empfohlen.

Frage 3

Welcher Befund stellt einen relevanten Risikofaktor für eine Fehllage nach Anlage einer externen Ventrikeldrainage (EVD) dar?

- A erhöhter mittlerer arterieller Druck
- B Verwendung der CT-Navigation
- C Dicke der Schädelkalotte
- D sehr enge Seitenventrikel (Schlitzventrikel)
- E Verwendung einer antibiotikabeschichteten EVD

Frage 4

Was ist *keine* mögliche Anwendung der Sonografie?

- A Detektion von Vasospasmen
- B Beurteilung der Ventrikelweite
- C Beurteilung der Mittellinienverlagerung
- D Überwachung des Hirnstoffwechsels
- E Verlaufsbeurteilung eines Subduralhämatoms

Frage 5

Welche der Aussagen zur p_{tiO_2} -Parenchymmesssonde ist korrekt?

- A Sie stellt eine Methode zur kontinuierlichen Messung dar.
- B Für die Implantation ist eine Kraniotomie notwendig.
- C Sie stellt eine nichtinvasive Methode zur kontinuierlichen Messung dar.
- D Die Messsonde sollte für alle Pathologien gleich positioniert werden.
- E Sie ermöglicht die therapeutische Beeinflussung der Sauerstoffversorgung.

Frage 6

Was ist *kein* typischer Monitoringparameter der Mikrodialyse?

- A Glukose
- B Pyruvat
- C Laktat
- D Laktat-Pyruvat-Ratio
- E Parenchymsauerstoffkonzentration

Frage 7

Welche der folgenden Aussagen zum Monitoring der elektrischen Hirnaktivität ist *nicht* korrekt?

- A Die elektrische Hirnaktivität kann kontinuierlich überwacht werden.
- B Eine Möglichkeit des Monitorings besteht in der Implantation von Oberflächen Elektroden.
- C Im geschädigten Hirngewebe wird durch Spreading Depolarisation eine Ischämie induziert.
- D Im gesunden Hirngewebe induzieren Spreading Depolarisation eine Hyper- oder Oligämie.
- E Das Monitoring der elektrischen Hirnaktivität erlaubt eine exakte Einschätzung der Prognose.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung...

Frage 8

Was beschreibt der Pressure Reactivity Index?

- A die zerebrale Autoregulation
- B den Zusammenhang zwischen mittlerem arteriellem Blutdruck und elektrischer Hirnaktivität
- C den Glutamatkonzentrationsgradienten über die neuronale Zellmembran
- D den Zeitraum zwischen dem Anstieg des intrakraniellen Druckes und dem Abfall der Parenchymsauerstoffkonzentration
- E die Veränderung der Pupillenreaktion auf einen Anstieg des intrakraniellen Druckes

Frage 9

Welcher der genannten Parameter kann mittels multimodalen Monitorings *nicht* direkt bestimmt werden?

- A Parenchymsauerstoffkonzentration
- B intrakranieller Druck
- C Flussgeschwindigkeit in der A. cerebri media
- D elektrische Hirnaktivität
- E Pressure Reactivity Index

Frage 10

Für die Behandlung welcher Erkrankung wird der Einsatz des multimodalen Monitorings in den Leitlinien empfohlen?

- A aneurysmatische Subarachnoidalblutung
- B schweres Schädel-Hirn-Trauma
- C Ischämischer Schlaganfall
- D Meningitis
- E Status epilepticus