

die Plateauphase. Über diese Zeit toleriert offensichtlich der ruhende Anteil der Zellen die Hypoxie ganz gut, bis sie dann letztlich absterben, während bei Kombination Hypoxie und Azidose sich dieser gleichmäßig lineare Abfall ergibt, wobei das Endergebnis über die Zeit gerechnet, also Prozent geschädigte Zellen, nicht beeinflusst wird durch die Versuchsbedingungen, sondern lediglich der Verlauf dazwischen.

W. Mauritz, Wien:

Aber das heißt, daß die das fast 30 min aushalten primär einmal. Das ist bemerkenswert.

F. Kutscha-Lissberg, Bochum:

Das glaube ich nicht. Diese Astrozytenzellenlinie ist eine überaus geduldige, wenn Sie sie kultivieren, deshalb können es auch Unfallchirurgen kultivieren.

Aus der Neurologischen Abteilung des Klinikums Staffelstein, Deutschland, dem \*Ludwig-Boltzmann-Institut für Restaurative Neurologie, Wien, Österreich, und dem \*\*Neuropathologischen Institut der Universität Zagreb, Kroatien

## Klassifikation des schweren cerebralen Traumas

G. Birbamer, F. Gerstenbrand\* und N. Grcevic\*\*

**Schlüsselwörter:** Inneres cerebrales Trauma – Magnetresonanztomographie.

**Key words:** Inner cerebral trauma – Magnetic Resonance Imaging.

**Zusammenfassung:** **Grundlagen:** Durch den zunehmenden Einsatz von bildgebenden Methoden in der Neurotraumatologie wächst auch das Bedürfnis einer klaren und prognostisch relevanten Klassifikation. Durch die hohe Sensitivität speziell der Magnetresonanztomographie können auch kleinste Läsionen dargestellt werden. Dies erlaubt zwar eine hohe Treffsicherheit in der Darstellung der Schädigung, führt jedoch nicht selten zu einer langen Liste von pathologischen Befunden, die ohne den nötigen Zusammenhang nur eine geringe klinische und gutachterliche Relevanz aufweisen.

**Methodik:** Ziel unserer Arbeit war es, die aus der Literatur bekannten biomechanischen Modelle und klinischen Erscheinungsbilder mit den neuropathologischen Befunden von Grcevic und den MR-tomographischen Befunden von über 200 Patienten zu korrelieren und so zu einer für den klinischen Bedarf gerechten Klassifikation zu kommen.

**Ergebnisse:** Eine auf den Schädel einwirkende Gewalt, die als Akzelerations- oder Dezelerationstrauma abläuft, führt, bedingt durch die Biomechanik des an der Halswirbelsäule frei beweglichen Schädels, je nach Richtung und Intensität klar zu unterscheidbaren Läsionsmustern. Die Korrelation von Gewalteinwirkung und Klinik mit den zu erhebenden neuropathologischen Befunden (2) erlaubt eine prinzipielle Unterscheidung in ein lineares äußeres und ein lineares inneres Hirntrauma sowie bei Gewalteinwirkung von schräg seitlich in ein Rotationstrauma.

**Schlußfolgerungen:** Eine Verletzung von Gehirn, Kleinhirn und Hirnstamm ist vom Ort der auf den Schädel einwirkenden Gewalt, deren Richtung und ihrer Intensität abhängig. Prinzipiell ist das Decelerations- und das Accelerations-Trauma zu unterscheiden. Ort und Richtung der Gewalteinwirkung können durch das modifizierte Schema nach Spatz dokumentiert werden (3).

## Classification of severe brain injury

**Summary:** **Background:** Magnetic resonance imaging (MRI) has proven superior to CT (computer tomography) in the evaluation of posttraumatic cerebral lesions.

**Methods:** The aim of the study was to compare the neuroimaging findings with neuropathological models of inner cerebral trauma in order to establish a new classification of severe brain injury.

**Results:** The correlation of traumatic impact on the head and clinical findings together with neuropathological findings allows a basic distinction of a linear outer and a linear inner cerebral trauma.

**Conclusions:** The extent of an injury to the brain, cerebellum and brainstem depends on the location, direction and intensity of the impact. We have to distinguish between deceleration and acceleration traumas.

## Einleitung

Durch den zunehmenden Einsatz von bildgebenden Verfahren in der Neurotraumatologie (1) wächst auch das Bedürfnis einer klaren und prognostisch relevanten Klassifikation.

Die hohe Sensitivität speziell der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) erlaubt die Detektion auch kleinster Gewebsanomalien und dadurch eine hohe Treffsicherheit in der Darstellung der Schädigung, führt jedoch nicht selten zu einer langen Aufstellung von pathologischen Befunden, die ohne der nötigen Korrelation nur eine geringe klinische und prognostische Relevanz aufweisen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Analyse von Akutsymptomatik und klinischen Folgen einer Hirnverletzung in Korrelation mit den Ergebnissen einer zerebralen MRT-Untersuchung, sowie der Vergleich mit bekannten neuropathologischen Befunden (2).

Eine Verletzung von Gehirn, Kleinhirn und Hirnstamm ist vom Ort der auf den Schädel einwirkenden Gewalt, deren Richtung und ihrer Intensität abhängig. Prinzipiell ist das Decelerations- und das Accelerations-Trauma zu unterscheiden. Ort und Richtung der Gewalteinwirkung können durch das modifizierte Schema nach Spatz dokumentiert werden (3) (Abb. 1).

## Methodik

Im Zeitraum zwischen März 1989 und Dezember 1995 wurden bei 150 Patienten nach schwerem Schädelhirntrauma (SHT) am Institut für Magnetresonanztomographie und Spektroskopie der

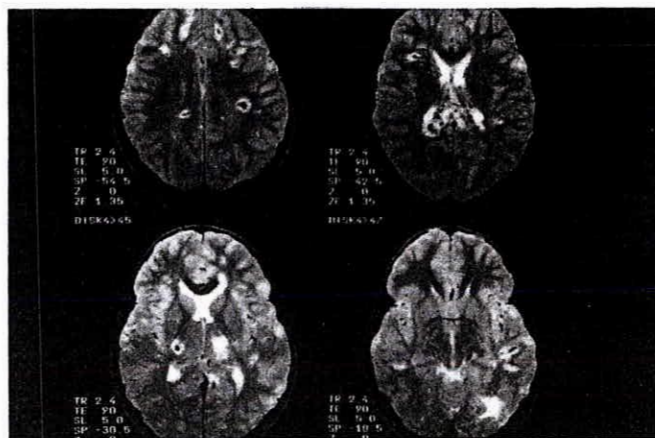


Abb. 1. Oberes inneres zerebrales Trauma mit ausgedehnten Balkenläsionen. Multiple, zum Teil hämorrhagische Läsionen subkortikal sowie im Thalamus rechts und im Bereich der Capsula interna links.

Korrespondenzanschrift: Dr. G. Birbamer, Neurologische Abteilung, Klinikum Staffelstein, Am Kurpark 11, D-96231 Staffelstein, Deutschland.

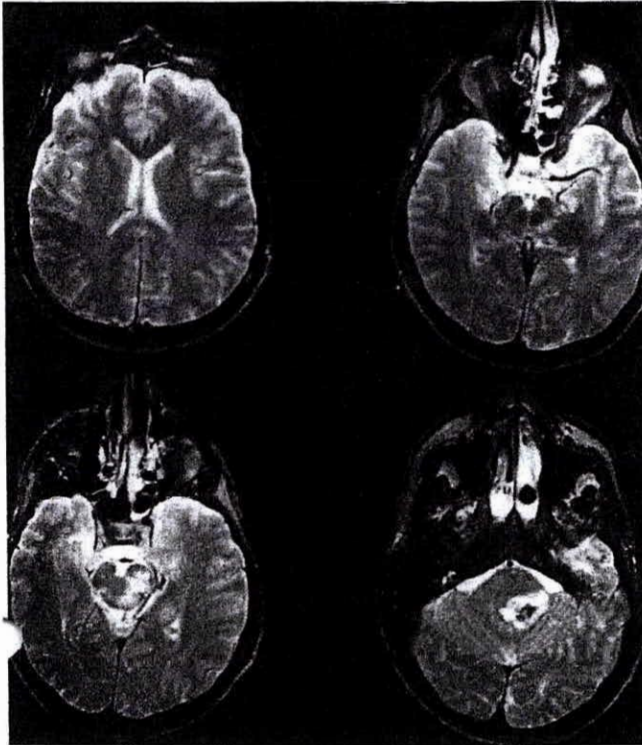


Abb. 2. Unteres inneres zerebrales Trauma mit ausgedehnter, zum Teil hämorrhagischer Hirnstammkontusion rechts.

Universitätsklinik Innsbruck (Leiter: Prof. Dr. Franz Aichner) eine MRT-Untersuchung durchgeführt. Bei allen Patienten erfolgte vor der MRT-Untersuchung eine zerebrale Computertomographie zum Ausschluß einer intrakraniellen Drucksteigerung. 40 Patienten waren im Koma und beatmet, so daß die bestehende Beatmung über Tracheostoma oder Tubus mittels nicht ferromagnetischen Apparaturen während der MRT-Untersuchung fortgeführt worden sind. Die MRT-Untersuchung erfolgte an einem 1,5-Tesla-Magnetom (Siemens Erlangen) mit einer zirkular-polarisierten Kopfspule (field of view = 21).

Zusätzlich zu den Standardprotokollen mit T1, T2 und PD-Sequenzen in unterschiedlicher Orientierung wurden bei einem Drittel der Patienten auch 3D-Gradientenechosequenzen mit einer Schichtdicke von 1 mm durchgeführt. Die zuletzt erwähnte Sequenz erlaubt durch die beinahe isotrope Auflösung eine nachträgliche Rekonstruktion der Daten in beliebiger Orientierung. Die Überlegenheit der MRT-Untersuchung im Vergleich zur zerebralen Computertomographie in allen Stadien der traumatischen Hirnerkrankung, insbesondere in der Darstellung infratentorieller Läsionen konnte in unserer Untersuchung bestätigt werden (4).

### Ergebnisse und Klassifikation

Eine auf den Schädel einwirkende Gewalt, die als Akzelerations- oder Dezelerationstrauma abläuft, führt, bedingt durch die Biomechanik des an der Halswirbelsäule frei beweglichen Schädels, je nach Richtung und Intensität klar zu unterscheidbaren Läsionsmustern. Die Korrelation von Gewalteinwirkung und Klinik mit den zu erhebenden neuropathologischen Befunden (2) erlaubt eine prinzipielle Unterscheidung in ein lineares äußeres und ein lineares inneres Hirntrauma sowie bei Gewalteinwirkung von schräg seitlich in ein Rotationstrauma.

Eine mehrfache Gewalteinwirkung auf den Schädel tritt häufig beim Verkehrs- und Sportunfall auf, wodurch eine Kombination verschiedener Läsionsmuster entstehen kann. Als primärtraumatische Schäden kommt es beim linearen äußeren Hirntrauma zu Rindenprellungsherden unter Mitbeteiligung der Meningen sowie zu subkortikalen Verletzungen. Beim linearen in-

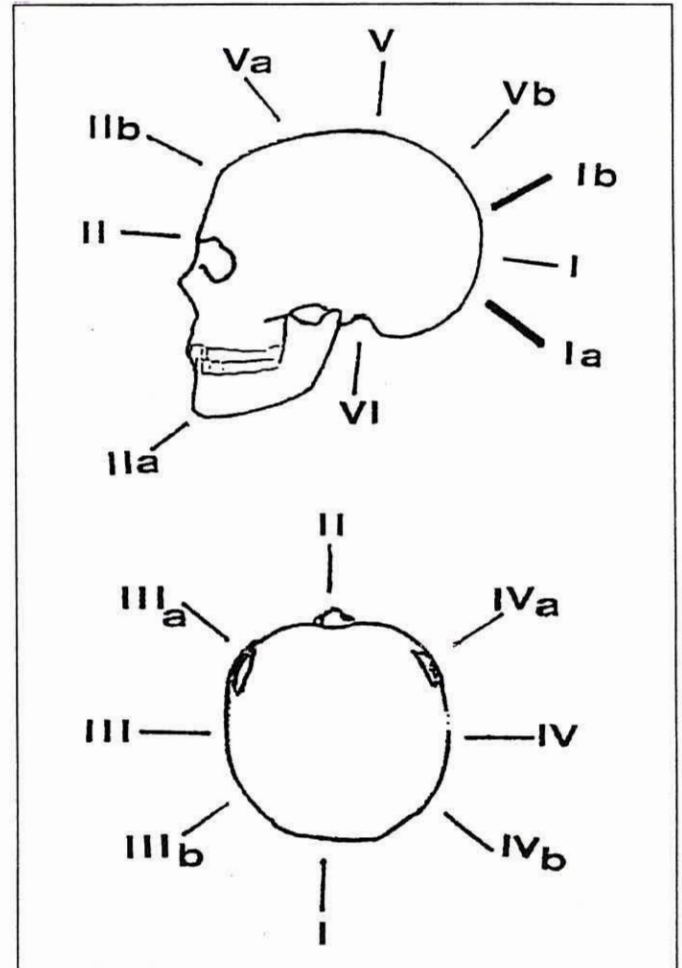


Abb. 3. Schema der Gewalteinwirkung auf den Schädel (Mod. Schema nach Spatz, Innsbruck).

neren Hirntrauma, bei dem das obere innere und das untere innere Hirntrauma zu unterscheiden sind, entstehen neben intrazerebralen Parenchymschäden, durch Mitbeteiligung der Hirngefäße auch intrazerebrale Blutungen. Beim Rotationstrauma kommt es neben der Zerreißung des Hirnparenchyms durch Scherkräfte zur Ruptur von inneren Hirngefäßen. An der Hirnoberfläche kann es zur Entstehung eines extrazerebralen Hämatoms (epidural-subdural) kommen, häufig gefolgt von einer intrakraniellen Volumenvermehrung, Massenverschiebung und sekundärer Hirnstammeinklemmung mit der Symptomatik eines akuten sekundären Mittelhirnsyndroms mit den einzelnen Entwicklungsstadien (3).

### Das lineare äußere Hirntrauma

Das lineare äußere Hirntrauma (Typ I und II) führt zu Coup- und Contrecoup-Verletzungen mit oft ausgeprägten Rindenprellungsherden frontotemporal (Typ I), bei relativ geringen Coup-Ausfällen okzipital und im Kleinhirn. Eine Gewalteinwirkung von vorne (Typ II) verursacht durch die starke Verminderung der einwirkenden Gewalt nach Gesichtsschädelverletzung und das elastische Tentorium relativ geringe Coup- und Contrecoup-Schäden frontal bzw. okzipital und zerebellär.

### Das lineare obere innere Hirntrauma (Grcevic)

wird ausgelöst durch eine Gewalteinwirkung Typ IIb, Vb, und kann als Folge einer Verformung der elastischen Schädelkapsel zum Unterdruck periventrikulär und zu schmetterlingsförmigen Schäden lateral der Seitenventrikel führen (Abb. 3). Diese Schä-

den reichen oft bis zum Thalamus bds; Außerdem kann eine Balkenruptur auftreten.

### Das lineare untere innere Hirntrauma (Lindenberg)

Bei einer Gewalteinwirkung von Typ V, Vb kommt es zu einer Druckwelle, die sich von zentral gegen die Schädelbasis ausbreitet. In Folge kann es zu Läsionen im oberen Hirnstamm und im medialen Temporallappen gelegentlich auch im Cerebellum kommen.

Die Abwärtsverschiebung des Hirnstammes kann mit einer Hirnnerven- und Gefäßdistorsion sowie einer tentoriellen Kontusion verbunden sein (Abb. 3).

### Das Rotationstrauma (Pudenz-Sheldon)

Die Gegenbewegung von Schädel und Gehirn führt bei Gewalteinwirkung von schräg seitlich vom Typ IIIa, IIb, IIIb, IVb, VIa, VIb, zu intrazerebralen Läsionen, Ruptur von perforierenden Gefäßen mit intrazerebralem Hämatom und bei Verletzungen der perforierenden Arterien und Venen zum extrazerebralen Hämatom (epidural-subdural).

### Literatur

- (1) Birbamer G, Luz G, Felber S, Kampfl A, Innerhofer P, Aichner F: Erfahrungen bei 120 Patienten mit schwerem Schädel-Hirn-Trauma. *Intens Notfallb* 1991; 16 (2).
- (2) Birbamer G, Buchberger W, Kampfl A, Aichner F: Early Detection of Post-Traumatic Olivary Hypertrophy by MR-Imaging. *J Neurol* 1993; 240: 407-409.
- (3) Birbamer G, D'Aleo G, Aichner F, Buchberger W, Chemelli A, Kalousek M, Felber S, Giogianni R, Bramanti P: Inner Cerebral Trauma evaluated by high field magnetic resonance and computed tomography: a comparison. In Gerstenbrand F, Saltuari L, Bramanti P (eds): *Brain Injury*. Messina-Innsbruck, EDAS, 1995, pp 123-126.
- (4) Gerstenbrand F, Rimpl E: Rehabilitation nach Hirnverletzung. *Intensivmedizin*. 1995, 7. Aufl., pp 832-842.
- (5) Grcevic N: The concept of inner cerebral trauma. *Scand J Rehab Med* 1988; (suppl 17): 25-31.

## DISKUSSION

H. Brenner, Wien:

Ich darf 3 kurze Bemerkungen machen: Bemerkung 1: Ihr Vortrag hat gezeigt, wie außerordentlich wichtig es ist, daß der Neurologe und Neurochirurg unmittelbaren Zugriff zu der Kernspintomographie hat. Das 2.: Sie haben in dem sehr schönen Dia über die sekundären Hirnschäden die Herniation angeführt und den Hydrozephalus. Und bei der Herniation die tentorielle. Haben Sie absichtlich die bulbäre, also die Herniation in das Foramen magnum ausgelassen? Und die 3. Frage: Sie haben ein sehr schönes Bild gezeigt mit massiven frontalen Kontusionen und haben gesagt, daß die eine gute Prognose haben, das ist zweifellos richtig, so lange sich das um die einseitigen Kontusionen handelt. In Ihrem Fall war es aber eine zweiseitige, und da schaut es dann gleich ganz anders aus.

G. Birbamer, Staffelsein:

Ja, also ich bedanke mich für die Anmerkungen. Nun folgendes: Um jetzt die letzte Frage zu beantworten: Wir haben einige Patienten auch neuropsychologisch evaluiert mit diesen frontalen und temporalen Kontusionstraumen. Ich habe es auch erwähnt, daß die bilateralen Kontusionstraumen eine schlechte Prognose haben, speziell auch, wenn der Temporallappen beteiligt ist. Ich wollte das Outcome so definieren, daß diese Patienten aufgrund fehlender Hirnstammkontusionen und Corpus-callosum-Läsionen in der Akutphase eine bessere Prognose gehabt haben. Die Diskussion ist offen. Wir haben ja viele apallische Patienten im Verlauf von 5 bis 10 Jahren verfolgt, oft sind gerade die Patienten, denen es am besten geht, wo man keine motorischen Ausfälle sieht die, die die schlechteste Prognose haben. Hohe Suizidquote oder sonstige Komplikationen, d. h., die Invalidität aufgrund einer Parese oder anderer sichtbarer Defizite sind nur ein Teil des gesamten Outcomes und da nimmt das organische Psychosyndrom

cher eine wesentliche Rolle ein. Ich habe keine bulbäre Herniation, also foraminelle Herniation gezeigt, weil wir damals mit einem MRT-Gerät gearbeitet haben, der eine Gantry noch gehabt hat von 30. Das eine Bild mit dem epiduralen Hämatom hat man klar gesehen, das ist eine foraminelle Herniation gewesen, dieser Patient hat auch ganz klar eine schlechte Prognose gehabt.

R. F. Nistor, Baden:

Ich habe eine Frage bezüglich Ihrer Klassifikation. Ich glaube, daß alleine aus rechtlichen und gutachterlichen Gesichtspunkten diese Art von Dokumentation sehr wichtig ist, und man sollte sicherlich nicht versuchen, jetzt in jeder unfallchirurgischen Abteilung ein Kernspinn anzuschaffen, aber es ist sehr wichtig, eben um das Trauma zu definieren aus rechtlichen und gerichtsmedizinischen Gründen so was zu machen. Aber ich warne davor, diese Bilder jetzt als ausschlaggebend für die Prognose und für die Therapie der Patienten zu nehmen. Ich spreche aus eigener Erfahrung, es kann vorkommen, daß ein Beatmungszwischenfall im nicht gerade funktionierenden Kernspinn auftreten kann oder das Monitoring ist nicht adäquat. Ich glaube schon, daß es uns weiterbringt, aber nur vom Aspekt der Dokumentation und nicht so viel im Blickpunkt auf die Therapie.

G. Birbamer, Staffelsein:

Ja, Sie sprechen mir aus der Seele. Wir haben auch eine Arbeit geschrieben über das Monitoring dieser Patienten im Rahmen der Untersuchung. Bei 120 Patienten waren 40 beatmet. Sie müssen natürlich ein Superteam haben, das das kann. Und wir haben das Glück gehabt, daß wir in Innsbruck eine Superanästhesie haben und wir keine Zwischenfälle gehabt haben, so daß Untersuchungen in Narkose, Kurznarkose bei Kindern usw. an der Tagesordnung sind und 3- bis 4mal täglich durchgeführt wurden. Und mir ist in den letzten 10 Jahren keine Zwischenfall bekannt.

K. R. H. v. Wild, Münster:

Ich erlaube mir den Hinweis, daß wir erst am Anfang stehen, die im MR dargestellten Läsionen richtig zu erkennen und einzuschätzen und möchte auch ein bißchen warnen vor einer Überinterpretation flüssigkeitsintensiver Bezirke, die als passager anzusehen sind, und ggf. als definitiv bewertet werden.

H. Hertz, Wien:

Ich möchte mich an die Worte von unserem verehrten HR Diekmath anschließen, unterstreichen, wie wichtig es ist, daß der MR aber auch den Unfallchirurgen zur Verfügung steht. Und eine Frage hätte ich dann an den Vortragenden bezüglich der Indikation, wann wir einen MR machen sollten, zu welchem Zeitpunkt und ob Sie glauben, daß im MR in der Akutphase mehr drinnen ist für die Behandlung des Patienten als im CT, daß wir also eine Forderung aufstellen, daß das akute SHT auch mittels MR diagnostiziert werden muß.

G. Birbamer, Staffelsein:

Prof. Wild hat es schon erwähnt, es ist eine rasante Entwicklung auch in der MR-Tomographie im Gange. Es wird sicher möglich werden, daß wir in nächster Zeit akut MRs machen können. Es gibt Untersuchungszeiten unter 1 min, wo Sie den Gesamtschädel darstellen können in einem MR noch schneller als im CT, d. h. das wird die Zukunft sein, da bin ich mir ganz sicher. Was die Prognose bezüglich behandelbarer Läsionen anbelangt, ist sicher das CT momentan ausreichend. Ich glaube man, sollte auch in keine Hysterie verfallen, daß man jetzt bei jedem akuten Patienten ein MR macht, sondern es spricht immer die Klinik. Also wenn die Klinik und der CT-Befund nicht übereinstimmen, dann sind Sie verpflichtet, eine weitere bildgebende Methode einzuführen, die Ihnen Klarheit verschafft. Und da ist das MR das geeignete Gerät.