

Kausalfaktoren für Extremverletzungen der Halswirbelsäule*

M. Thiel

Abt. Rechtsmedizin der Medizinischen Fakultät der Rhein.-Westf. Technischen Hochschule Aachen, Lochnerstr. 4–20, D-5100 Aachen, Bundesrepublik Deutschland

Severe Trauma of Neck and Skull Base

Summary. The concept of internal decapitation comprises lesions within the skull base, upper spinal column with partial or complete destruction of the cervical part of the medulla.

By means of casualties due to internal decapitation we demonstrate that, besides the known causes, a rotational damage at the juncture of the upper spinal column to the skull base as well as fractures by axial stretching may cause such traumas.

A decrease of such accident's consequences is hardly possible because of the amount of energy involved causing the damage.

Due to a steady increase of traffic, particularly by motor-bicycle, we shall have to cope with more cases of this kind of damage.

Key words: Traumatology, internal decapitation – Mechanism of trauma – Axial stretching of skull base

Zusammenfassung. Der Begriff innere Dekapitation erfaßt Schädigungen im Bereich Schädelbasis, obere Halswirbelsäule mit Teil- bzw. Totalzerstörung des Halsmarks. Anhand von Todesfällen mit innerer Dekapitation wird demonstriert, daß neben den bekannten Ursachen auch eine Rotationsschädigung im Übergangsbereich Halswirbelsäule–Schädelbasis und die axiale Extensionsfraktur der Schädelbasis ein derartiges Verletzungsbild hervorrufen können.

Eine Minderung der Unfallfolgen ist bei der Höhe der auftretenden Energie, die der Schädigung zugrunde liegt, kaum möglich. Es muß in Zukunft bei stärkerer Motorisierung und Zunahme der Zweiradunfälle häufiger mit dieser extremen Verletzungsart gerechnet werden.

Schlüsselwörter: Traumatologie, Halswirbelsäule – Axiale Extensionsfraktur – Innere Dekapitation

* Auszugsweise vorgetragen auf der 60. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin vom 15.–19. September 1981 in Kiel

Die vielfältig beschriebenen Formen des Halswirbelsäulentraumas finden ihr Extrem in der inneren Dekapitation mit subtotaler bzw. totaler Halsmarkzerreißung. Gegenüber vereinzelten Beobachtungen durch Schneider (1928), Wuermerling und Struck (1965), Jarosch und Hinz (1969) u.a. wurden derartige Verletzungsformen von Saternus (1979) bei 3% seines Untersuchungsmaterials gefunden.

Eine Auswertung gerichtlicher Sektionen seit 1978 ergab eine ähnliche Häufigkeitsverteilung im Obduktionsgut der Abteilung Rechtsmedizin der TH Aachen ohne Berücksichtigung von Flugunfällen. Zur Untersuchung von Halswirbelsäule und Schädelbasis wurde nach dem von Hinz beschriebenen Verfahren vorgegangen, in Abänderung dazu wurden in einem Untersuchungsgang weitere Horizontalschnitte durch die einzelnen Wirbel gelegt und direkt befundet. Die Befundkonstellation und die zugrunde liegende Pathomechanik veranlaßte uns, zwei Gruppen mit ähnlichen Verletzungsmustern zu unterscheiden:

I. Bei der ersten Gruppe handelt es sich um Schädigungen im Übergangsbereich Hinterhaupt–Atlas–Axis, bei denen die Hälfte keine Mitbeteiligung der Schädelbasis aufwies, die andere Hälfte nur geringe Bruchverletzungen bzw. Fissuren. Allen Fällen gemeinsam war die Teil- bzw. Totalablösung der Bandverbindung zwischen Hinterhaupt und Atlas bzw. die Lockerung zwischen Atlas und Axis mit ausgeprägten Einblutungen in die Nackenmuskulatur, teilweise auch längsverlaufende Zerreißungsblutung bei erhaltenem äußeren Weichteilschlauch (Abb. 1a, b).

Die betroffenen Segmente waren entweder luxiert oder durch Blutungen und Zerreißungen ihrer ligamentären Strukturen von den benachbarten Segmenten isoliert. Nur in einem Fall kam es zu einem Dens-Abriß mit Fraktur des hinteren Atlasbogens, die zu einer erheblichen Rückenmarksquetschung führten (Abb. 2a, b).

Die Variationsbreite der Begleitschädigung reichte von kleinen Bandscheiben- oder Wirbelgelenkblutungen bis zu Wirbelkörperfrakturen und Bandverletzungen mit Kompressionserscheinungen auf das Rückenmark (Abb. 3a, b).

Die Mitbeteiligung des Gehirns war auch bei fehlender Verletzung der Schädelkalotte und der Schädelbasis obligatorisch. Es traten in allen Fällen eine Subarachnoidalblutung auf, bis auf eine Ausnahme wurden immer Kontusionsblutungen und subdurale Blutungen festgestellt.

II. Die zweite Gruppe an identischen Verletzungsmustern mit totaler Halsmarkzerreißung stellen Ringfrakturen der Schädelbasis dar. Begriffe wie Kopf-Abriß, Hinterhauptsabriß oder Extensionsfraktur werden von zahlreichen Autoren synonym verwandt. Die Grundlage zur Pathomechanik vermittelt bereits die Arbeit von Messerer (1880), die durch neuere Arbeiten von Patscheider (1961), Reimann (1961), Voigt (1972) u.a. ergänzt wurden.

Die Extensionsfraktur wird im Rahmen von Verkehrsunfällen häufig beobachtet, gleichzeitige totale Rückenmarksabrisse dagegen selten. Die Höhe des Abrisses liegt nach Retraktion des Rückenmarkes etwa in Höhe des 1. Halswirbelkörpers. Hirnstammrisse, wie sie Wuermerling und Struck (1965) beobachteten, traten in unseren Fällen nicht auf. Die übrigen makroskopischen Schädelbasisbefunde entsprechen den allgemein bekannten Aussprengungen zentraler Anteile um das Foramen magnum. Begleitverletzungen der Halswirbelsäule mit Band-

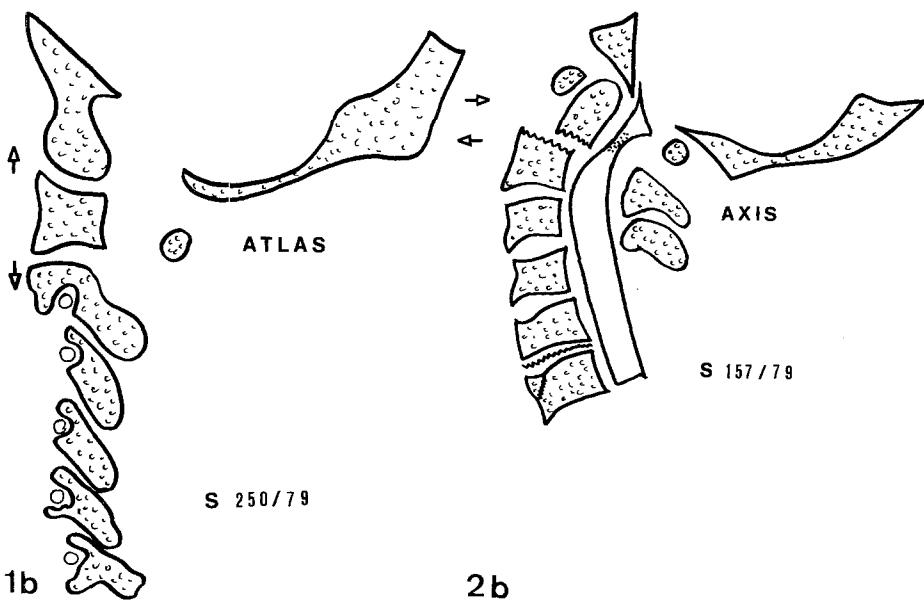
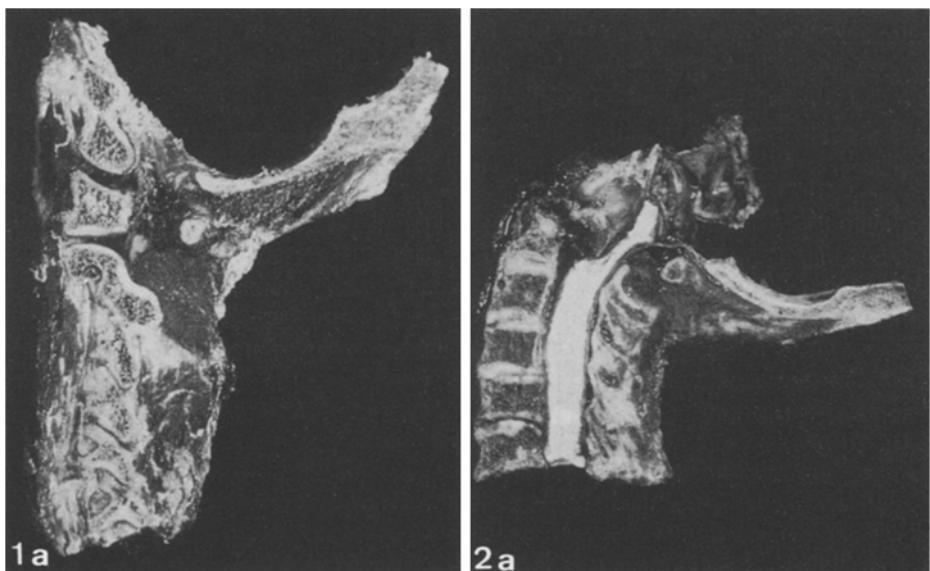


Abb. 1 a, b. Parasagittalschnitt: Einblutungen in die Nackenmuskulatur, Blutung in die Gelenkverbindungen des Atlas mit Kapsel- und Bänderzerreißen. Keine Fraktur

Abb. 2 a, b. Medianschnitt: Dens-Abriß, erhebliche Rückenmarksquetschung mit Begleitschädigung in Höhe C5, tear-trop fracture of the 6. Halswirbel. Mäßige allgemeine degenerative Veränderungen der HWS

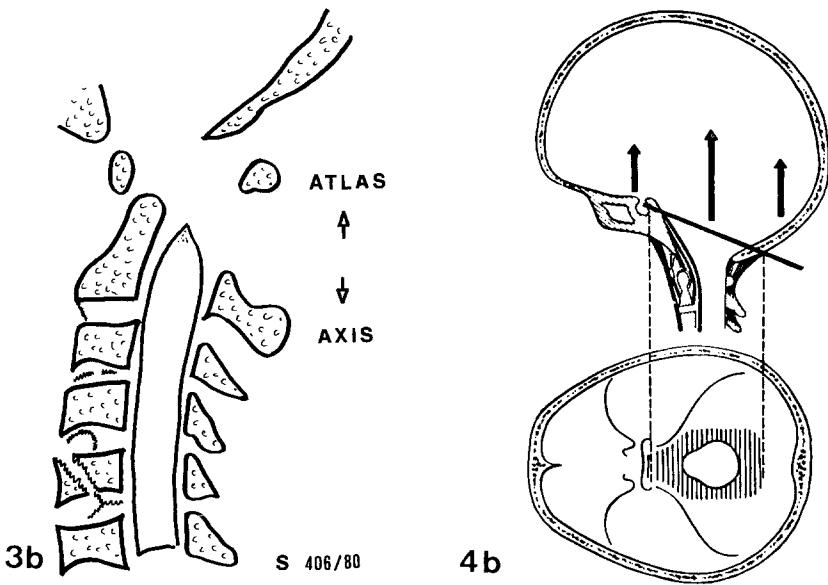
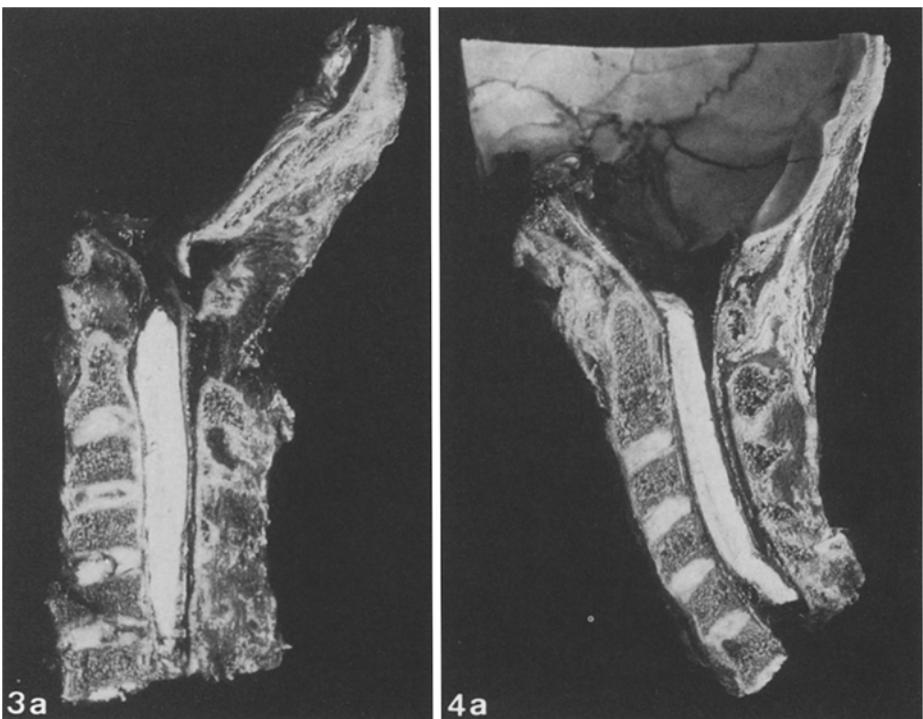


Abb. 3a, b. Zerreißung der occipitalen Bandverbindungen zwischen Schädelbasis, Atlas und Axis. Massive tiefer gelegene Schädigung in C2 bis C5 mit Kompressionsfraktur des 5. Halswirbelkörpers

Abb. 4a, b. Axiale Extensionsfraktur (Ringfraktur) mit klaffendem, quer verlaufendem Frakturspalt in der hinteren Schädelgrube. Geringe Begleitverletzungen der HWS

scheibenzerreißung im Übergangsbereich zwischen Hals- und Brustwirbelsäule traten gelegentlich auf, weiterhin Blutungen in die ligamentären Verbindungen zwischen Atlas und Axis bzw. Atlas und Os occipitale (Abb. 4a, b).

Diskussion

Dem Schädigungsmechanismus in beiden Gruppen lagen überwiegend Kollisionen zwischen Fahrzeugen und Fußgängern bzw. Zweiradfahrern sowie Sturzverletzungen von Motorradfahrern zugrunde. Jarosch und Hinz (1969) beobachteten Hinterhauptsabrisse ausschließlich, Saternus (1979) teilweise auch bei PKW-Insassen. Plenge (1979), Schneider (1928) und Smerling (1976) u. a. fanden sie auch bei Sturz aus großer Höhe.

Da die Halswirbelsäule nur in zwei Fällen direkt traumatisiert worden war, muß angenommen werden, daß in den übrigen Fällen dem beobachteten Verletzungsmuster eine indirekte Schädigung, d. h. extreme Beschleunigung bzw. Verzögerung zugrunde gelegen hat. Es stellt sich die Frage, ob hier eine klassische Schleuderbewegung des Systems Kopf-Hals aufgetreten ist oder ob Scher- oder Rotationskräfte zur Dehiszenz der Halswirbelsäule von der Schädelbasis beigetragen haben.

Bei den vielfältigen experimentellen Untersuchungen, die zur Analyse des Hyperflexions- und Hyperextensionstraumas durchgeführt wurden (Dotzauer et al. 1973; Kallieris und Schmidt 1974; Lange 1972; Mattern et al. 1975; Penning 1976; Ziffer 1967; u. a.) wurden Lockerung und Abriß der Bandverbindungen zwischen Hinterhaupt und Atlas kaum beobachtet, da bei freier Schleuderbewegung die Biegebeanspruchung in den tieferen Segmenten vor allem im Bereich des zweiten Halswirbelkörpers und im Übergangsbereich zwischen Hals- und Brustwirbelsäule stattfindet.

Die Auffassung von Hinz (1970), eine Lockerung der Schädelbasis von der Halswirbelsäule könne nur bei ventral auftretenden Kräften entstehen, wurde durch die Arbeiten von Saternus korrigiert. Dessen Meinung, daß „prinzipiell bei einer Gewalteinwirkung mit großer Masse und Kraft aus jeder Richtung“ ein mehr oder weniger vollständiger Abriß des Schädels möglich ist, ist einleuchtend. Bei den Horizontalschnitten fielen insbesondere eine ringförmige um die oberen Segmente liegende Blutung in die Weichteile auf, die den Schluß nahelegt, daß hier auf der Basis der Bewegungsmöglichkeit in den Kopfgelenken weniger die Hyperflexion und Hyperextension als vielmehr eine Scher- oder Rotationsbelastung als Schädigungsursache anzusehen ist. Gegen größere angreifende Scherkräfte spricht, daß in mehreren Fällen die Schädelkalotte sowie die Schädelbasis unverletzt waren. Naturgemäß treten bei hohen Impulsen und Belastungen über 100 g aufgrund der mangelnden Energieabsorption Impressionsfrakturen, Scharnier- oder Berstungsbrüche des Schäeldaches und der Schädelbasis auf. Bei tangential angreifenden Rotationskräften gilt diese Voraussetzung nicht.

Analysiert man die in der Literatur beschriebenen Verletzungen bei Fahrzeuginsassen, bei denen isolierte Schleuderbewegungen am ehesten auftreten können, so muß man feststellen, daß neben der Biegebeanspruchung die möglichen Zug-,

Scher- oder Rotationsbelastungen als Schädigungsursachen häufig vernachlässigt wurden, vor allem weil die Rekonstruktion komplexer Bewegungsabläufe unmöglich ist.

Im weiteren wird der Begriff der Hyperextensionsverletzungen häufig mißverständlich als Schädigungsursache genannt, obwohl hier nicht eindeutig geklärt ist, ob Extension im Sinne der Streckung, d. h. Reklination der Halswirbelsäule oder im Sinne der axialen Bewegung gemeint ist. Wir glauben, daß für die Fälle der Gruppe I dieser Begriff Extension nicht zutreffend ist, sondern daß neben den bekannten Schädigungsmechanismen, der Kipp-, Scher- oder Biegebeanspruchung, auch die Überschreitung der rotatorischen Belastbarkeit der ligamentären Strukturen zwischen Os occipitale, Atlas und Axis als ursächlich anzusehen sind.

Den Schädelbasisringfrakturen der Gruppe II, auch Extensionsfrakturen, liegt pathomechanisch eine abnorme Zugbelastung zugrunde. Da die axiale Belastbarkeit der Halswirbelsäule scheinbar höher ist als die der knöchernen Basis und die Druckverteilung in der Schädelkalotte gleichmäßiger vonstatten geht als die Zugbelastung im Bereich der Basis, kommt es zu den beobachteten Verletzungsmustern. Je nach der Schwere der letztlich resultierenden Kraft wird die elastische Dehnbarkeit des Rückenmarkes überschritten, und es kommt zur Zerreißung. Derartige axiale Zugkräfte können sich auch aus resultierenden Vektoren bei Schleuderbewegungen ergeben.

Schlußfolgerungen

In allen Fällen ist der Tod unmittelbar nach dem Schädigungsergebnis eingetreten. Bei Zusammenstößen zwischen Fußgängern und PKW wird das Schwergewicht der Unfallforschung nicht in der Verminderung der Unfallfolgen, sondern in der Vermeidbarkeit des Unfalles zu suchen sein.

Bei Zweiradfahrern, die einen Schutzhelm tragen, denkt man an die Optimierung der Schutzsysteme. Wie bei den von Nagy und Haferland (1969) beschriebenen Fällen traten u. a. zwei Extensionsfrakturen der Schädelbasis auf. Messungen ergaben eine Erhöhung des Gesamtkopfgewichtes durch Integralhelme zwischen 20% und 50%, womit rein theoretisch eine Extensionsfraktur begünstigt worden sein kann. Die Überlegung, das Helmgewicht zu reduzieren, um damit auch die Winkelbeschleunigung für die Halswirbelsäule zu minimieren, geht letztlich auf Kosten der Kollisionsbelastung des Kopfes. Da das Verletzungsrisiko des Kopfes um ein Vielfaches über dem der Halswirbelsäule liegt und zwei Drittel an den tödlichen Kopfverletzungen sterben (Koslowski und Thies 1964; Richter 1960; u. a.), sollte hier nicht aufgrund vereinzelter beobachteter Schädigungen durch den Schutzhelm — vergleichbar mit dem Rückhaltegurt im Auto — das ganze Schutzsystem ungünstig abgeändert werden.

Eine Minderung der Unfallfolgen ist bei der Höhe der Energie, die der Schädigung zugrunde liegt, derzeit kaum möglich. Wir müssen daher in Zukunft bei der Zunahme schwerer Motorradunfälle häufiger mit dieser extremen Verletzungsart rechnen.

Diese Überlegungen lassen an ein Zitat aus der Arbeit von Jarosch und Hinz (1969) denken: „Die spezielle Verletzungsart des Hinterhauptsabisses von der

Halswirbelsäule begründet sich als entwicklungsgeschichtliches Teilproblem der *Erectio trunci hominis*.“ Unterstellt man im übertragenen Sinn den noch nicht abgeschlossenen Entwicklungsprozeß, so ist diese Aussage von Jarosch und Hinz uneingeschränkt zu bejahen.

Literatur

- Behrend CM (1955) Schädel-Hirn-Basis-Verletzungen. *Hefte Unfallheilkd* 48:23–31
- Bourmer H (1951) Zur Frage der Halsmarkschädigung bei Hyperextensionsverletzungen der Wirbelsäule. *Hefte Unfallheilkd* 42:74–82
- Clemens HJ, Burow K (1972) Experimentelle Untersuchungen zur Verletzungsmechanik der Halswirbelsäule beim Frontal- und Heckaufprall. *Arch Orthop Unfall-Chir* 74: 116–145
- Dotzauer G (1978) Die Okzipito-Zervikalregion aus der Sicht des Gerichtsmediziners. In: Junghanns H (Hrsg) *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd 26. Hippokrates, Stuttgart, S 72–79
- Dotzauer G, Hinz P, Lange W (1973) Das Verhalten menschlicher Körper und anthropometrischer Puppen im Sicherheitsgurt bei der Simulation von schweren Frontalzusammenstößen. *Z Rechtsmed* 72:8–21
- Erdmann H (1973) Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule. In: Junghanns H (Hrsg) *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd 56. Hippokrates, Stuttgart
- Fiala E (1969) Zur Verletzungsmechanik bei Verkehrsunfällen. *Hefte Unfallheilkd* 98:31–52
- Gögler E (1969) Biomechanik des Verkehrsunfalls. *Hefte Unfallheilkd* 99:235–240
- Heyl G (1981) Helmtest. *Motorrad* 7: 107–130
- Hinz P (1968) Vielschichtige Untersuchungsmethoden zur Erfassung pathomorphologischer Sektionsbefunde nach Schleudertraumen der Halswirbelsäule. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 64:204–216
- Hinz P (1970) Die Verletzung der Halswirbelsäule durch Schleuderung und durch Abknickung. In: Junghanns H (Hrsg) *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd 47. Hippokrates, Stuttgart
- Hinz P (1972) Verletzungsmuster der Halsorgane in Abhängigkeit zur Impulsrichtung. *Hefte Unfallheilkd* 110: 15–20
- Jarosch K, Hinz P (1969) Hinterhauptabriß von der Halswirbelsäule. *Monatsschr Unfallheilkd* 72:89–99
- Kallieris D, Schmidt G (1974) Belastbarkeit gurtgeschützter menschlicher Körper bei simulierten Frontalaufprallen. *Z Rechtsmed* 74:31–42
- Kamiyama S, Käppner R, Schmidt G (1971) Verletzungskombinationen bei tödlichen Verkehrsunfällen. *Monatsschr Unfallheilkd* 74: 10–30
- King AI, Chou CC (1976) Mathematical modelling, simulation and experimental testing of biomechanical system crash response. *J Biomechanics* 9: 301–317
- Koslowski L, Thies W (1964) Bericht über 5900 Schädel-Hirn-Traumen. *Monatsschr Unfallheilkd* 67:97–103
- Kummer B (1961) Statik und Dynamik des menschlichen Körpers. In: Lehmann G (Hrsg) *Handbuch der gesamten Arbeitsmedizin*, Bd I. Urban & Schwarzenberg, Berlin München Wien, S 1–48
- Lange W (1972) Die Reaktion des Systems Kopf-Halswirbelsäule bei stoßartiger Beschleunigung des Torsos. *Hefte Unfallheilkd* 110:8–15
- Leichsenring F (1964) Pathologisch-anatomische Befunde in der Halswirbelsäulenregion bei verstorbenen Patienten mit Schädeltraumen. *Dtsch Med Wochenschr* 89:1469–1475
- Mattern R, Kallieris D, Meister B, Zimmermann G (1975) Halsverletzungen gurtgeschützter PKW-Insassen beim simulierten Frontalaufprall. *Beitr Gerichtl Med* 33:298–302
- Messerer O (1880) Über Elastizität und Festigkeit der menschlichen Knochen. Cotta, Stuttgart
- Nagy L, Haferland W (1969) Extensionsfraktur der Schädelbasis bei sturzhelmgeschütztem Kopf. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 66:9–12

- Patscheider H (1961) Zur Entstehung von Ringbrüchen des Schädelgrundes. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 52:13–21
- Penning L (1976) Dynamische Aspekte der Halswirbelsäulenverletzung. Unfallheilkunde 79: 5–10
- Peters G (1978) Die Rückenmarkverletzungen der Okzipito-Zervikalregion. In: Junghanns H (Hrsg) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd 76. Hippokrates, Stuttgart, S 83–85
- Plenge D (1979) Sturz aus großer Höhe. Inaugural-Dissertation, Aachen
- Pribilla O, Zöllner K (1963) Chirurgische und pathologisch-anatomische Befunde bei Verkehrsunfällen. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 54:72–77
- Reimann W (1961) Zur Mechanik der Schädelbasisringbrüche. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 51:601–608
- Richter C (1960) Schädelfrakturen und ihre Auswirkungen bei 100 Motorradunfällen. Chirurg 31:416–421
- Rüter A (1972) Pathomechanik der Wirbelsäulenverletzung und ihre Röntgendiagnostik. Hefte Unfallheilkd 110:28–30
- Saternus K-S (1979) Die Verletzungen von Halswirbelsäulen und von Halsweichteilen. In: Junghanns H (Hrsg) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd 84. Hippokrates, Stuttgart
- Schneider P (1928) Zerreißung des Bandapparates zwischen Hinterhaupt und Halswirbelsäule. Beitr Gerichtl Med 8:96–104
- Sellier K (1961) Zur Physik des Schädeltraumas. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 51:550–554
- Smerling M (1976) Sturz aus der Höhe (Fenstersturz). Habilitationsschrift, Berlin
- Spasić P, Režić A (1970) Ein Beitrag zur Kenntnis des Entstehungsmechanismus der Schädelbasisringbrüche. Z Rechtsmed 67:324–328
- Voigt GE (1972) Aufschlagverletzungen von Kopf und Hals bei frontalen Zusammenstößen. Hefte Unfallheilkd 110:20–27
- Weinreich M (1969) Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule. Hefte Unfallheilkd 99: 293–296
- Wuermering H-B, Struck G (1965) Hirnstammrisse bei Verkehrsunfällen. Beitr Gerichtl Med 23:297–302
- Ziffer D (1967) Das Verhalten der Halswirbelsäule in Verbindung mit der Schädelbasis und der oberen Brustwirbelsäule bei schlagartiger Druckbeanspruchung (Stürze auf unnachgiebige Hindernisse — Stahlplatten) und bei schlagartiger Zugbeanspruchung (Zerreißung). Zentralbl Verkehrs-Med 13:193–217

Eingegangen am 21. September 1981