

Originalarbeiten — Original Papers

Rekonstruktion des Unfallherganges bei Halsverletzungen* **

Georg Schmidt und Dimitrios Kallieris

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg (BRD)

Eingegangen am 31. Oktober 1972

Reconstruction of Accidents from Injuries of the Neck

Summary. Because of a difficult postmortem examination, which requires much time, injuries of the neck are not always recognized distinctly. According to Weil (1968), the cervical vertebrae were injured by more than 50% of the traffic victims. *Autopsy technique:* The usual section of the scalp is lengthened behind the ears along the sternocleidomastoid muscle to the manubrium sterni. In this way the superficial muscles of the neck may be well displayed. If a bone injury is suspected, x-ray examination must follow after removing the muscles in layers. By angiography of the arteriae vertebrales or carotides, suspected injuries of the vessels can be detected. The cervical and if necessary the breast and lumbar vertebrae are removed.

Biomechanics. The biomechanic-functional unit, head — neck — trunk, exhibits this speciality that an acceleration or deceleration between head and trunk often takes place. Less frequent are the direct injuries of the neck. Acceleration works in axial and linear direction as pressure or tension. Muscle strainings, band lacerations and disruption of the vertebrae or the cranial base (circle fracture) occur. In case of tension the fragments of the os occipitale lay outside and in case of pressure within the cranial cavity. Forces as in the case of whiplash of following trunk impact work as rotational acceleration with the result of wringing off the neck. Dynamical tension loading of the cervical vertebrae with 160—360 kp results in disruption after lengthening from 6 to 11 cm, whereas pressure of 1350 to 1800 kp is needed for lacerations. So the violability is much greater by tension than by pressure.

So far the description implies short (5—160 msec) and quick (> 15 km/hr or 1300 rad/sec²) motions according to dynamic impact. In case of quasi static pressure more fractures of the vertebral pedicles are detected, perhaps by shearing forces, to which the neck is exposed. The neck marrow can also be crushed vigorously, if vertebral bodies are dislocated. Injuries of the arteriae vertebrales are less frequent. Although measurements with reference to the loading capacity of the neck are known, experiments in a greater extent are nevertheless necessary.

Reconstruction. Apart from the tensile lacerations which appear on the neck in front lateral following the cleavage directions of the skin, direct trauma to the skin of the neck is well known and is not to be discussed here. The tearing lines require some time for their formation. The nature of the injuries of soft tissues and — better — bones permits to recognize the dynamic (whiplash) or quasi static (pressure against abutment) origin. It is good to decide, whether the flexions of the neck were coming, from the front or the back or the sides. The locality of the lacerations illustrate well the direction of the hyperextension. These conclusions must be demonstrated by a critical examination of all details, for example the injuries of the head, damaging of cloths, foreign bodies in wounds and observations of intravital and post-mortal origin.

* Teilweise vorgetragen auf dem IV. Internationalen Kongreß für Verkehrsmedizin in Paris, September 1972.

** Herrn Prof. Dr. med. Berthold Mueller zum 75. Geburtstag gewidmet.

Zusammenfassung. Einige wichtige Kriterien bei der gerichtsmedizinischen Untersuchung von Halsverletzungen werden auf Grund eigener und der Literaturerfahrungen dargestellt. Besondere Beachtung gebührt einer geeigneten Sektionstechnik, der Biomechanik und den oft subtilen Verletzungsbefunden, damit eine optimale Rekonstruktion des Unfallmechanismus möglich wird.

Key words: Verkehrsmedizin, Halsverletzungen — Sektionstechnik, Verkehrsunfall — Verkehrsunfall, Rekonstruktion.

Die richtige Beurteilung der Halsverletzungen hat grundsätzliche Bedeutung für die Aufklärung eines Unfallablaufes, mitunter auch für die Erkennung der Todesursache. Halsverletzungen, insonderheit solche mit Beteiligung der Halswirbelsäule, werden selbst bei Autopsien nicht immer richtig erkannt, da die Untersuchungstechnik zeitraubend und schwierig ist. Weil (1968) fand 50% Halsverletzungen bei 33000 Unfallverletzten. Wir sahen unter 381 Unfalltoten fast 10% mit Halswirbelsäulenbrüchen (Kamiyama *et al.*, 1971). Ähnliche Zahlen nennt Sevitt (1968). Die Dunkelziffer dürfte groß sein, wenn schon bei überlebten Verletzungen 13% der Halswirbelfrakturen trotz röntgenologischer Untersuchung übersehen worden sind (Nap, 1972).

Deshalb verlangt die *Sektionstechnik* besondere Aufmerksamkeit. Wir verlängern den üblichen Kopfschnitt hinter den Ohren und entlang dem Sternocleidmuskel, so daß alle oberflächlichen und tiefen Muskeln des Halses und Nackens gut dargestellt werden können. Das Fehlen von Blutungen in der Muskulatur und in den Bändern schließt jedoch eine Wirbelsäulenverletzung nicht aus. Deshalb ist bei Verletzungsverdacht eine Angiographie der Carotiden zu empfehlen. Die Röntgenaufnahme wird gleichzeitig zur Prüfung auf Knochenverletzungen verwendet. Nach Herausnahme der Halswirbelsäule einschließlich der Schädelbasis (Technik wie bei Emminger, 1966, 1967, 1972; Becker, 1959; Hinz, 1968) werden Sagittal- und Parasagittalschnitte gesägt, entweder nach Tiefkühlung oder Formalinfixierung. Die Scheiben eignen sich besonders gut für die Darstellung von Wirbelsäulenbrüchen, Blutungen, Bänderrissen.

Die biomechanische Funktionseinheit Kopf-Hals-Rumpf hat die Besonderheit, daß entweder Rumpf oder Kopf bei Beschleunigungen indirekt den Hals belasten (Schlegel, 1968). Direkte Halstraumen sind seltener. Man hat also immer die Verletzungen des Kopfes oder Rumpfes zu den Halsschädigungen in Beziehung zu setzen (Leichsenring, 1964). Wird der Kopf in axialer Richtung gegen den Rumpf beschleunigt, treten Verletzungen durch Druck auf. Nach Hipp (1967) sind 80% der Wirbelsäulenverletzungen Stauchungsbrüche, 10% Biegungsbrüche und einige Prozent Abscherungsbrüche. Weniger bekannt ist jedoch, daß schwere Halsverletzungen auch durch Zug in axialer Richtung auftreten können. Solche Verletzungen sind möglich bei Stoß von vorne unten gegen das Kinn oder von hinten unten gegen das Occiput (Moritz, 1954); bei Abbremsung des Rumpfes eines Kraftfahrers durch frontalen Aufprall am Lenkrad oder Armaturenbrett, wobei der Kopf wesentlich langsamer verzögert wird; oder bei Beschleunigung des Rumpfes etwa eines Radfahrers oder Fußgängers durch Zusammenstoß mit schnellen Fahrzeugen (Aufschöpfungsvorgang) ohne Kopfanstoß. Die Fahrzeuggeschwindigkeit liegt in der Regel über 80 km/Std. Der Zug in axialer Richtung bewirkt Muskel- und Bänderrisse sowie Abriß der Wirbelsäule oder der Schädelbasis (Reimann, 1961). Patscheider (1961) hat auf diesen Pathomechanismus hingewiesen und ihn auf-

geklärt. Die Ringbrüche der Schädelbasis können an Hand der Bruchform hinsichtlich der Entstehung durch Druck (Stauchung) oder Zug unterschieden werden (Spasić u. Režić, 1970). Bei Zug liegen die Fragmente außerhalb und bei Druck innerhalb der Schädelbasis. Selbst wenn eine nennenswerte Dislokation fehlt, ist eine konische Verbreiterung der Bruchstücke bei Zug nach außen und bei Druck nach innen erkennbar.

Die dynamische Zugbelastung der isolierten Halswirbelsäule wurde von Ziffer (1967) mit 160 bis 360 kp bis zur Zerreißung nach einer Verlängerung um 6 bis 11 cm gemessen. Dagegen fand er 1350 bis 1800 kp als Druckbelastung bis zum Eintritt von Verletzungen erforderlich. Wie von der Technik bekannt und später bei Röhrenknochen bestätigt (Evans u. Lebow, 1951; Knese *et al.*, 1955), ist auch die Halswirbelsäule in gleicher Weise wie die anderen Knochen viel leichter durch Zug als durch Druck verletzbar.

Handelt es sich nicht um lineare, sondern um Rotationsbeschleunigungen des Kopfes wie beim Schleudertrauma, so entstehen die bekannten Brüche und Zerreißungen durch Hyperflexion und Hyperextension. Zwar ist theoretisch ein Schleudertrauma nicht nur nach vorn oder hinten, sondern auch nach den Seiten zu erzielen, aber bei seitlicher Biegung der Halswirbelsäule schützen die Schultern vor Überbeanspruchung. Dies dürfte ein Grund dafür sein, daß Querfortsatzbrüche selten beobachtet werden. Beim Schleudertrauma sind Zugkräfte vorherrschend. Es kommen aber auch kombinierte Verletzungen durch Zug, Druck, Drehung, Biegung, Scherung und direkten Stoß ebenso vor. Die Verletzungsformen werden dadurch weniger übersichtlich.

Schleudertraumen haben eine kurze schnelle und eine darauffolgende gegenläufige langsamere und länger dauernde Bewegungsphase. Solche Kombinationen sind besonders bei zusätzlicher quasi-statischer Belastung nachzuweisen. Verletzungen durch Zug wie Bänder- und Bandscheibenrisse werden meistens durch kurze (5 bis 160 msec) und schnelle (mehr als 15 km/Std oder 1300 rad/sec²) Bewegungen ausgelöst. Quasi-statische Belastung durch Druck und Biegung führt bei längerer Dauer auch zu Bogen- und Fortsatzbrüchen.

Auf die Verletzungen des Rückenmarkes soll hier nicht näher eingegangen werden. Bei Zug und Stauchung sind Zerreißungen bzw. Quetschungen des Rückenmarkes zu erwarten (Bürkle de la Camp, 1959; Leichsenring, 1964; dort weitere Literatur). Selten sind Verletzungen der Aa. vertebrales (Hinz u. Plaue, 1972). Diese Gefäße und ihre Verletzungen können am besten durch einseitige Angiographie entweder über die Carotis oder Vertebralis an der Leiche auf beiden Seiten dargestellt werden. Während sich beim Lebenden durch den Blutstrom lediglich das gleichseitige Gefäßnetz peripher der Einstichstelle füllt (Decker, 1955), werden bei der Leiche über den Circulus Willisii auch die großen Gefäße der Gegenseite gefüllt. Über postmortale Angiogramme der Arteriae vertebrales und deren diagnostische Möglichkeiten wurde bereits von Jaquet (1962), Weber (1962), Kunert (1961), Dérobert *et al.* (1967) sowie von Hinz u. Tamaska (1968) berichtet. Kontrastmittelaustritt oder -stop zeigen Verletzungen an. Die Präparation der Carotiden im Siphonbereich und der Vertebralisarterien in ihrem Gesamtverlauf nach Ökrös (1967) ist gegenüber der Angiographie sehr zeitraubend.

Messungen über die Belastbarkeit des Halses sind aus den Untersuchungen von Mertz u. Patrick (1967), Hinz (1970), Ommaya u. Hirsch (1971) sowie Hinz u.

Plaue (1972) und anderen bekannt. Trotzdem sind Untersuchungen in größerem Umfang notwendig. Insbesondere fehlen Kenntnisse über die Variation der Belastungsgrenzen bei Kindern und alten Menschen.

Die Beachtung der pathomechanischen Gesetzmäßigkeiten erleichtert eine *Rekonstruktion* des Unfalls und macht sie in vielen Fällen überhaupt erst möglich. Auf die bekannten parallelstreifigen Dehnungsrisse an der Haut des Halses sei nur kurz hingewiesen. Sie folgen der Spaltbarkeitsrichtung der Haut (Schmidt, 1968) und zeigen eine Überdehnung im vorderen seitlichen Halsdreieck an. Die verschiedenen Muskelrisse lassen eindeutige Schlüsse auf die Richtung der Kraft zu, ebenso wie die Überdehnung im Kehlkopfbereich bei Hyperextension, die mit retropharyngealen Hämatomen und sogar mit Abriß der Luftröhre verbunden sein kann (Hinz). Die Dehnungsrisse in der Haut haben einen gewissen Zeitbedarf für ihre Ausbildung. Haut und Gefäße sind sehr gut dehnbar und werden deshalb erst bei extremer Zugbeanspruchung und Verlängerung um über 100% zerrissen. Einrisse der Carotiden beschränken sich in der Regel auf die Intima. Im Siphonbereich werden sie bei Schädelbasisbrüchen allerdings leicht zerrissen und abgeschert. Glatte Zerreißen der Vertebralarterien sind erst bei klaffenden Abrissen der Halswirbelsäule oder der Schädelbasis zu finden.

Die Art der Verletzungen an Weichgeweben und an Knochen läßt Schlüsse auf dynamische (z. B. Schleudertrauma; Emminger, 1968, 1970) oder quasi-statische (Druck gegen Widerlager, anhaltende Stauchung) Einwirkung zu. Abb. 1 zeigt in Anlehnung an Moritz, Kulowski und Erdmann schematisch, wie sich die Belastung bei Überschreitung des Grenzbereiches an den wichtigsten Teilen der Halswirbelsäule und ihres Bandapparates auswirkt. Zerreißen der Längsbänder zeigen Überdehnung an. Bandscheibenrisse vorne bei Streckung und hinten bei Beugung. Mehrfache Bandscheibenrisse sind selten. Brüche der Wirbelkörper durch Stauchung sind in der Regel an zwei oder mehreren Segmenten zu finden, während



Abb. 1. Schematische Darstellung der Verletzungsfolgen an der Halswirbelsäule bei unterschiedlicher Stoßmechanik. Dicke Pfeile: Hauptrichtung des Stoßes; dünne Pfeile: Dislokation an den Verletzungsstellen

Knochenabrisse durch Zug als Einzelverletzungen auftreten. In axialer Richtung gegen die Wirbelsäule beschleunigt, gibt der Kopf den Stoß bei geringen Geschwindigkeiten, aber längerer Dauer an die Wirbelsäule weiter. Zum Beispiel treten Wirbelbrüche bei Sturz auf den Kopf aus geringer Höhe auf. Beim Schleudertrauma sind die Wirbel C 4 und 5 bevorzugt betroffen.

Bei höheren Beschleunigungen von kurzer Dauer verhindert die Massenträgheit, daß der Stoß vom Kopf weitergegeben wird. Wenn die Kraft jenseits der Deformierbarkeit des Kopfes liegt, finden wir in solchen Fällen Schädelbrüche. Sind Schädelbrüche *und* Wirbelsäulenbrüche vorhanden, ist an mehrfache oder mehrzeitige Gewalteinwirkung zu denken. Zusätzlich sind für eine Unfallrekonstruktion weitere Daten soweit erreichbar zu verwenden (Kleiderbeschädigungen, Fremdkörper an der Leiche oder in Wunden, Prüfung intravitaler oder postmortaler Entstehung sowie technische Untersuchungen). Bei postmortal gesetzten Brüchen konnten kräftige Blutunterlaufungen der Verletzungsstellen erzielt werden (Hinz u. Tamaska, 1968).

Auch bei Exhumierungen hat sich die Röntgenuntersuchung vor der Sektion bewährt. Solange der Bandapparat das Hals- und Kopfskelet zusammenhält, können Luxationen röntgenologisch erfaßt werden. Nach Sagittalschnitten sind oft monatelang Blutungen erkennbar und nach Maceration selbstverständlich Bruchlinien darzustellen.

Bogenbrüche und Gelenkfortsatzbrüche sind (isoliert) sehr selten und kommen durch Zug oder Druck auf die seitlichen Fortsätze zustande, also im wesentlichen bei seitlicher Biegung und Stauchung der Halswirbelsäule. Sie entgehen oft der Röntgendiagnose und sind an der Leiche nur auf Parasagittalschnitten erkennbar. Völlig klar werden die Verhältnisse erst nach Maceration der Halswirbelsäule.

2 Jahre nach dem Tode eines Mannes, der 5 Tage nach einem Verkehrsunfall an Basilaris-thrombose verstorben war, wurde als Ursache ein Bogenbruchsystem (Facettenbrüche) am 6. Halswirbel festgestellt und damit Unfalltod bewiesen. Der Mann war als Beifahrer aus einem nach rechts umgestürzten Kleinwagen geborgen worden. Der Fahrer lag auf ihm. Es mußte eine starke seitliche Abknickung der Halswirbelsäule angenommen werden. Bei der Erstuntersuchung der frischen Leiche war die Halswirbelsäule nicht seziiert worden.

Die technische Entwicklung hat dazu geführt, daß der Mensch sich gegen größere Beschleunigungen seines Körpers schützen muß. Durch Sicherheitsmaßnahmen werden manche Verletzungen vermieden, andere aber provoziert. So ist zu erwarten, daß gerade in den neuen Sicherheitsautos die Relativbewegungen zwischen Rumpf und Kopf den Hals mehr als bisher belasten, während Rumpf und Kopf besser geschützt sind. Es ist deshalb mit einem Anstieg der Halsverletzungen gegenüber den Rumpf- und Kopfverletzungen zu rechnen.

Literatur

- Becker, V.: Zur Sektionstechnik der Halswirbelsäule. Virchows Arch. path. Anat. **332**, 384 (1959).
Bürkle de la Camp, H.: Wirbelsäulenverletzungen beim Kraftfahrer. Klin. Med. (Wien) **14**, 505 (1959).
Decker, K.: Entwicklung und Bedeutung der Vertebralisangiographie. Fortschr. Röntgenstr. Röntgenpraxis **83**, 301 (1955).

- Dérobot, L., Dehouve, A., Martin, R., Dehouve, P.: Apport de la radiologie à l'étude des traumatismes crânio-cervicaux par l'opacification systématique des artères vertébrales. *Ann. Méd. lég.* **47**, 826 (1967).
- Emminger, E.: Zur pathologischen Anatomie des Schleudertraumas der Halswirbelsäule. *Langenbecks Arch. klin. Chir.* **316**, 445 (1966).
- Emminger, E.: Weichteilschäden nach HWS-Traumen. *Physik. Med. u. Rehab.* **8**, 58 (1967).
- Emminger, E.: Pathologisch-anatomische Befunde bei frischer Halswirbelsäulenverletzung. *Verh. dtsch. orthop. Ges.*, 54. Kongreß. In: Beilageheft *Z. Orthop.* **104**, 282 (1968).
- Emminger, E.: Das Schleudertrauma in der Begutachtung. *Mschr. Unfallheilk.* **73**, 102 (1970).
- Emminger, E.: Persönliche Mitteilung zur Sektionstechnik, 1972.
- Erdmann, H.: Die röntgenologische Diagnostik der Schleudertraumen der Halswirbelsäule. *Verh. dtsch. orthop. Ges.*, 54. Kongreß. In: Beilageheft *Z. Orthop.* **104**, 273 (1968).
- Evans, F. G., Lebow, M.: Regional differences in some of the physical properties of the human femur. *J. appl. Physiol.* **3**, 563 (1951).
- Hinz, P.: Vielschichtige Untersuchungsmethoden zur Erfassung pathomorphologischer Sektionsbefunde nach Schleudertraumen der Halswirbelsäule. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **64**, 204 (1968).
- Hinz, P.: Die Verletzung der Halswirbelsäule durch Schleuderung und durch Abknickung. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 47, hrsg. v. H. Junghanns. Stuttgart: Hippokrates 1970.
- Hinz, P., Plaue, R.: Die Begutachtung von Schleuder- und Abknickverletzungen der Halswirbelsäule. *Aktuelle Orthopädie*, Heft 4, S. 1—20. Stuttgart: Thieme 1972.
- Hinz, P., Tamaska, L.: Arteria vertebralis und Schleuderverletzung der Halswirbelsäule. *Arch. orthop. Unfall-Chir.* **64**, 268 (1968).
- Hipp, E.: Verletzungen der Wirbelsäule. In: Lehrbuch der Orthopädie u. Traumatologie, Bd. III, S. 207 ff., hrsg. v. M. Lange. Stuttgart: Enke 1967.
- Jaquet, G.-H.: Postmortale Angiogramme der Arteriae vertebrales mit makroskopischen und mikroskopischen Befunden an Knochen, Gefäßen und Nerven. In: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 25, S. 118—124, hrsg. v. H. Junghanns. Stuttgart: Hippokrates 1962.
- Kamiyama, S., Käppner, R., Schmidt, Gg.: Verletzungskombinationen bei tödlichen Verkehrsunfällen. *Mschr. Unfallheilk.* **74**, 10 (1971).
- Knese, K. H., Hahne, O. H., Biermann, H.: Festigkeitsuntersuchungen an menschlichen Extremitätenknochen. *Morph. Jb.* **96**, 141 (1955).
- Kunert, W.: Arteria vertebralis und Halswirbelsäule. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 20, hrsg. v. H. Junghanns. Stuttgart: Hippokrates 1961.
- Kulowski, J.: Crash injuries. Springfield (Ill.): Thomas 1960.
- Leichenring, F.: Pathologisch-anatomische Befunde in der Halswirbelsäulenregion bei verstorbenen Patienten mit Schädeltraumen. *Dtsch. med. Wschr.* **89**, 1469 (1964).
- Mertz, H. J., Jr., Patrick, L. M.: Investigation of the kinematics and kinetics of whiplash. Stapp Car Crash Conference, XI, 267 (1967). Soc. of Automotive Engineers, Inc. New York, N.Y.
- Moritz, A. R.: The pathology of trauma. 2nd ed. Philadelphia: Lea & Febiger 1954.
- Nap, A.: Overlooked fractures. *International Microfilm J. of Legal Medicine*, Vol. 7, No. 2, Card 5 C a p. 39 (1972).
- Ökrös, S.: Siphonthrombosen und ihre gerichtsmedizinische Bedeutung (Obduktionstechnik). *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **60**, 103 (1967).
- Ommaya, A. K., Hirsch, A. E.: Tolerance for cerebral concussion from head impact and whiplash in primates. *J. Biomech.* **4**, 13 (1971).
- Patscheider, H.: Zur Entstehung von Ringbrüchen des Schädelgrundes. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **52**, 13 (1961).
- Reimann, W.: Zur Mechanik der Schädelbasisringbrüche. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **51**, 601 (1961).
- Schlegel, K.-F.: Die akuten Schleuderverletzungen der Halswirbelsäule und ihre Behandlung. *Verh. dtsch. orthop. Ges.*, 54. Kongreß. In: Beilageheft *Z. Orthop.* **104**, 265 (1968).
- Schmidt, Gg.: Hauttopik und Verletzungsspuren. *Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med.* **62**, 87 (1968).
- Sevitt, S.: Fatal road accidents. *Brit. J. Surg.* **55**, 481 (1968).

- Spasić, P., Režić, A.: Ein Beitrag zur Kenntnis des Entstehungsmechanismus der Schädelbasisringbrüche. *Z. Rechtsmedizin* **67**, 324 (1970).
- Weber, E.: Angiographische Studien an der Vertebralis Verstorbenen. In: *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd. 25, S. 125—130, hrsg. v. H. Junghanns. Stuttgart: Hippokrates 1962.
- Weil, U. H.: Betrachtungen zur Schleuderverletzung der Halswirbelsäule. *Verh. dtsh. orthop. Ges.*, 54. Kongreß. In: *Beilageheft Z. Orthop.* **104**, 318 (1968).
- Ziffer, D.: 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). *Zbl. Verkehrs.-Med.* **13**, 193 (1967).

Prof. Dr. Gg. Schmidt
Dipl.-Phys. D. Kallieris
Institut für gerichtliche Medizin
der Universität
D-6900 Heidelberg, Voßstraße 2
Bundesrepublik Deutschland