

## **Hangman's-fracture bei ventralflektierter Traktion\***

**K.-S. Saternus und E. Paul**

Institut für Rechtsmedizin der Universität zu Köln,  
Melatengürtel 60–62, D-5000 Köln 30, Bundesrepublik Deutschland

### **Hangman's Fracture in Ventrally Flexed Traction**

**Summary.** Hangman's fracture in ventrally flexed traction between 10° and 75° is analyzed on the basis of 220 fracture trials on plaster of real bone preparations of the atlas and axis of two adults. Hangman's fractures, which are usually regarded as a form of injury from dorsal flexion, occurred in 25% of the fracture trials under this kind of strain. Frequency depended on flexion angle, as well as on inclination of the dens axis. Thus Hangman's fractures occurred, as a whole, more frequently in the kyphotic dens type than in the lordotic type and were found as a rule at 75° flexion.

Furthermore, the investigations showed that pedicles can by no means be regarded as the sole predilection site for fracture. A detailed description is provided on why the Hangman's fracture type, due to ventrally flexed traction, can be included in the group of bone injuries arising from flexion, with tensile stress of the dorsal parts of the dens and the corpus axis, on the one hand, and the upper side of the axis arch on the other. Hence, the injury picture ranges from the dorsal arch fracture to the horizontal rupture through the superior articular facies and the corpus axis, as documented by substantial evidence.

**Key word:** Hangman's fracture in ventral flexion

**Zusammenfassung.** Anhand von 220 Bruchversuchen an Gipsabgüssen realer knöcherner Präparate von Atlas und Axis von 2 Adulten wird zur Hangman's fracture bei ventralflektierter Traktion zwischen 10 und 75° Stellung genommen.

Hangman's fractures, üblicherweise als Verletzungsform der Dorsalflexion angesehen, traten unter dieser Form der Beanspruchung in 25% der Bruchversuche auf. Ihre Häufigkeit war abhängig vom Flexionswinkel, aber auch von der Neigung der Densachse. So waren Hangman's fractures beim, kyphotischen Denstyp insgesamt häufiger als beim lordotischen, stellten bei der 75°-Flexion sogar den Regelbefund.

Die Untersuchungen zeigen weiterhin, daß die Pedikel keineswegs als die alleinige Predilektionsstelle für die Fraktur angesehen werden können.

---

*Sonderdruckanfragen an:* Prof. Dr. K.-S. Saternus (Adresse siehe oben)

\* Herrn Prof. Dr. med. W. Janssen zum 60. Geburtstag

Ausführlich wird begründet, warum in den Typ der Hangman's fracture durch ventralflektierte Traktion die Gesamtheit der knöchernen Verletzungen einbezogen werden kann, die durch Biegebeanspruchung entstehen mit einer Zugbeanspruchung der dorsalen Partien des Dens und des Corpus axis auf der einen Seite und der Oberseite des Axisbogens auf der anderen. Danach reicht das Verletzungsbild von der dorsalen Bogenfraktur bis zum Horizontalriß durch die Facies articulares superiores und das Corpus axis, wofür auch reale Belege angeführt werden.

**Schlüsselwörter:** Hangman's fracture bei ventralflektierter Traktion – Erhängen

Seit der Beschreibung der Hangman's fracture durch Wood-Jones [33] im Jahre 1913 als beidseitigen Bruch der Wirbelbogenwurzeln (Pedikel) des Axis nach Justifikation durch den Strang hat sich die Epidemiologie dieser Verletzung in zivilisierten Ländern entscheidend geändert. So ist dieser Verletzungstyp zum festen Terminus der klinischen Traumatologie geworden [2–6, 8–11, 15, 17, 18, 21–24, 26–28, 30–32], wobei die Mehrzahl der mitgeteilten Fälle Patienten beschreibt, die diese schweren Verletzungen überlebt haben. Die Hangman's fracture tritt unabhängig von Lebensalter, somit von degenerativen Veränderungen auf, ist selbst bei Kindern beschrieben worden [7, 16]. Der typische Verletzungsvorgang ist das Hyperextensionstrauma; und es ist das Verdienst von R. C. Schneider u. Mitarb. [22], in diesem Zusammenhang auf den submentalen Aufprall bei der Frontalkollision aufmerksam gemacht zu haben.

Bei einer so engen Beziehung zwischen der Richtung der äußeren Gewalt einwirkung und der Verletzungsform der HWS stellt sich im Hinblick auf die diagnostischen Erwartungen des Klinikers und auf die Treffsicherheit der Unfallrekonstruktion die Frage nach einer Verlässlichkeit dieses Zusammenhangs. Deshalb sollte im Modellversuch geprüft werden, ob und gegebenenfalls unter welchen äußeren Bedingungen auch bei der Ventralflexion Hangman's fractures zu erzeugen sind.

## Material und Methoden

Grundlage der Untersuchungen waren zwei unterschiedliche Axistypen, die zusammen mit dem jeweiligen Atlas aus der Sammlung des Instituts entnommen wurden. Sie stammten von Adulten, die frei von knöchernen Erkrankungen gewesen waren. Selektionskriterium war die unterschiedliche Neigung der Densachse und das damit verbundene seitliche Densprofil. Im ersten Fall war die Achse in der Bestimmung nach Krmptotic-Nemanic und Keros [13] um 1° nach ventral, im zweiten um 7° dorsal geneigt. Mit Krmptotic-Nemanic und Keros [13] sowie Koebke [12] soll der ventral geneigte Typus als kyphotisch und der dorsal gerichtete als lordotisch bezeichnet werden.

Von beiden Typen wurden jeweils 110 praktisch identische Hartgipsabgüsse von Atlas und Axis über eine Silikonkautschuk-Form angefertigt, so daß 220 Bruchversuche an den real geformten beiden oberen Halswirbeln durchgeführt werden konnten.

Die Bruchversuche wurden unter Variation des Winkels zwischen 10 und 75° Ventralflexion durchgeführt, und zwar wurden von jedem Typ jeweils 10 Modelle pro Winkelstellung eingesetzt. Der Winkel wurde zwischen 10 und 45° in 5°-Schritten, ab 45° in 10°-Schritten geändert.

Für die Bruchversuche wurde eine Anlage konstruiert, die aus einem vierteiligen, Atlas und Axis angepaßten Gipsquader bestand, der mit festen Bügeln auf eine Grundplatte montiert wurde. Das Profil dieser Grundplatte war der unteren Axisfläche anmodelliert.

Hier war eine Lasche aus 10lagigem Glasfaser-Kautschukgewebe eingelassen, die dem Bandsystem (Lig. long. post., M. tectoria und Pars verticalis des Lig. cruciforme) topographisch angepaßt nachgebildet worden war. Die Pars horizontalis des Lig. cruciforme, das Lig. transversum atlantis, war gleichfalls integriert, aber durch Bohrlöcher in den Massae laterales nach vorn gezogen und hier befestigt worden. Die Fortsetzung des angepaßten Bandsystems war eine anatomisch nachgebildete kurze vordere Schädelbasis, die in einen Haltebügel auslief. Von diesem lief eine Schnur zu einem Ausleger, an dem der Flexionswinkel eingestellt wurde. Die Schnur wurde über eine Umlenkrolle geführt und nach Vorspann durch Sandzugabe in einem an ihr befestigten Behälter langsam unter Zugspannung gesetzt. Diese quasi statische Beanspruchung wurde bis zum Eintritt der Fraktur erhöht. Für die Bruchversuche wurde auf die Benutzung zusätzlicher ligamentärer Verspannungen verzichtet, weil mit dieser Anordnung eine ausreichende Biegebeanspruchung erreicht werden konnte, die durchaus als funktionsgerecht anzusehen ist.

In der vorliegenden Untersuchung soll ausschließlich die Hangman's fracture betrachtet werden, nicht hingegen die bei diesen Versuchen aufgetretenen Densfrakturformen.

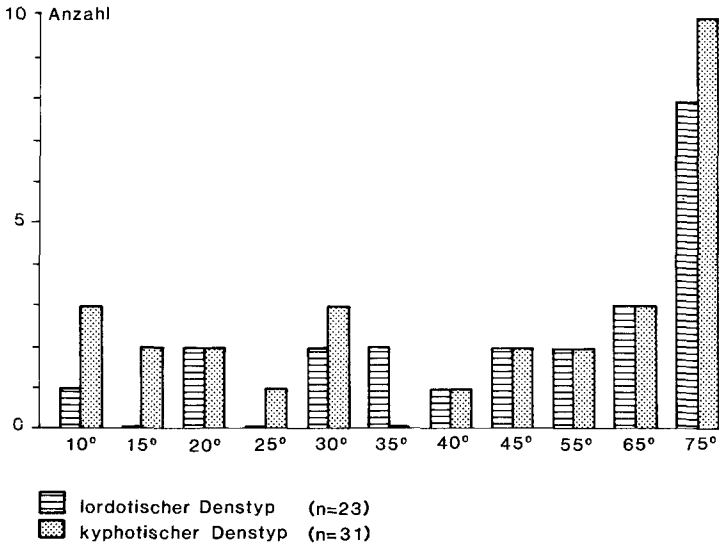
## Ergebnisse

### *Lordotischer Denstyp*

Am lordotischen Denstyp war es überwiegend zu symmetrischen Frakturen der Bogenwurzel gekommen. Bei dem den Versuchen zugrundeliegenden Objekt handelte es sich um einen Axis mit relativ kleinen und vergleichsweise flachgestellten Facies articulares superiores und um einen deutlich im Tuberculum anterius und posterius getrennten Proc. costotransversarius. Dabei lag das Foramen costotransversarium, seitlich projiziert auf die Facies art. sup., am Übergang vom mittleren zum hinteren Drittel, das Tuberculum anterius in Höhe des vorderen Drittels mit kräftigem Ansatz am vorderen Sockel der Facies art. sup. Für das Tuberculum posterius ergab sich eine Projektion in der Sagittalebene, die cranial etwa mit dem hinteren Rand der Facies art. sup. und caudal mit dem vorderen Rand des Wirbelbogengelenks C 2/3, also der Facies art. inf. zu bestimmen war.

Sämtliche Bruchlinien verliefen von hinten oben nach vorn unten. Bei der Angabe zur Lage des Bruchspalts soll von der Zugseite, also von der Oberkante des Bogens ausgegangen werden, wobei danach zu differenzieren wäre, ob die Fraktur corpusnahe, nämlich vor dem Tuberculum posterius, in ihm oder rückwärtig davon aufgetreten ist.

Unter 110 Bruchversuchen mit lordotischem Denstyp kam es in gut 20% der Fälle ( $n = 23$ ) zu einer Hangman's fracture. Dabei bestand in bezug auf die verschiedenen Flexionswinkel keine Gleichverteilung. Waren zwischen 10 und 55° Flexion unter 90 Bruchversuchen nur 12 Hangman's fractures, pro Winkelstellung nicht mehr als 2, aufgetreten (Abb. 1), so waren es bei 75° 8 von 10. Ganz offensichtlich ändert sich bei dieser steilen Flexion die Qualität der Beanspruchung. Ohne erkennbaren Einfluß war dagegen die Richtung der Kräfteinleitung auf die Bruchhöhe. Insgesamt lagen etwa 60% der Frakturspalten auf der Oberseite des Bogens hinter dem Tuberculum posterius, weitere 20% durchsetzten es, und die restlichen 20% lagen davor.



**Abb. 1.** Häufigkeit von Hangman's fractures bei ventralflektierter Traktion unter 220 Bruchversuchen an zwei verschiedenen Denstypen

Wie erwähnt, überwogen symmetrische Frakturen der Pedikeln (etwa 70%), und zwar zwischen 10 und 65° zu Zweidritteln (10 von 15) und bei 75° zu Dreivierteln (6 von 8). Zu diesen symmetrischen Hangman's fractures soll auch ein Fall gezählt werden, bei dem es in Kombination mit einer basalen Densfraktur zu gleichartigen Brüchen des dorsalen Bogenanteils, nämlich direkt hinter den Wirbelbogengelenken (Facies articularis inf.) gekommen war. Die Kraft wurde bei dieser Versuchsserie mit einem Flexionswinkel von 30° eingeleitet.

Eine weitere Besonderheit fand sich unter den 10 Bruchversuchen des lordotischen Denstypus bei 35° Flexion. Zweimal war es in dieser Serie zu Hangman's fractures gekommen, beide asymmetrisch. Jeweils rechtsseitig lag der Bruchspalt mehr hinten und linksseitig vorn. Dabei war in einem Fall rechts bei Verlauf der Fraktur durch das Tuberculum posterius, linksseitig breit der Ansatz am Corpus axis mit den seitlichen Partien des Körpers und den kompletten dorso-caudalen Anteilen ausgerissen.

### *Kyphotischer Denstyp*

Der als kyphotischer Denstyp den Bruchversuchen zugrundegelegte Axis unterschied sich von dem lordotisch geformten Objekt nicht nur in der Neigung der Densachse. So reichten die vorn breiten Facies articulares superiores dorsal weit über die Rückfläche des Corpus axis hinaus. Auch waren die Facies art. inf. der Wirbelbogengelenke nicht klein und symmetrisch wie beim lordotischen Typ, sondern erheblich verschieden. Während das linke normal große Gelenk nur kleine lippenförmige Randverwerfungen besaß, war rechts die Gelenkfläche mit breiten arthrotischen Osteophyten um etwa 50% vergrößert. Es bestand nach dem knöchernen Befund eine weitgehende Ankylose des

**Abb. 2.** Kyphotischer Denstyp Bruchversuch bei 15° Ventralflexion. Es liegt eine asymmetrische Hangman's fracture in Form eines Schrägbruches unter Beteiligung der rechten Facies art. sup. und des linken hinteren Axisbogens vor



**Abb. 3.** Kyphotischer Denstyp mit einer kräftigen Arthrose im rechten Wirbelbogengelenk C 2/3. Asymmetrische Hangman's fracture bei 75° Ventralflexion mit fast horizontaler Bogenabsprengung auf der rechten Seite des Modells; linksseitiger Frakturspalt an der Grenze zum Dornfortsatz





**Abb. 4.** Kyphotischer Denstyp. Symmetrische Bruchform des hinteren Teils des Axisbogens bei 65° flektierter Traktion. Nach der Form der Beanspruchung liegt eine Hangman's fracture vor

Gelenks. Zum Proc. costotransversarius reichte eine breite knöchernen Brücke (Abb. 2–4). Damit öffnete sich das Foramen costotransversarium fast in der Sagittalebene, war sowohl vorn als auch hinten von kräftigen leicht von ventrocranial nach dorso-caudal geneigten Streben begrenzt.

Auf der linken Seite hingegen bestand der Proc. costotransversarius aus einem in den Gelenkfortsatz einlaufenden, aber nicht weiter gegliederten Sporn. Dabei handelt es sich um einen geläufigen Befund, ohne vollständig abgrenzbares Foramen costotransversarium (Abb. 2–4).

Wie auch beim lordotischen Typ bestand, bezogen auf die verschiedenen Winkelstellungen bei der Flexion, keine Gleichverteilung bezüglich der Häufigkeit der hier interessierenden Bruchform (Abb. 1). Während es zwischen 10 und 65°-Flexion nur bis zu maximal 3 Hangman's fractures pro Serie kam, waren es bei der 75°-Flexion alle 10. Verglichen mit dem lordotischen Typus kamen Hangman's fractures beim kyphotischen insgesamt etwas häufiger vor (21% zu 28%). Und anders als beim lordotischen Typ überwogen dabei mit 66,6% asymmetrische Bruchformen. Aber auch hier fand sich wie beim lordotischen Typus in einem Fall eine Kombination mit einer basalen Densfraktur.

Bei den asymmetrischen Bruchformen verlief der Bruchspalt beidseitig von hinten oben nach vorn unten, und zwar auf der linken Seite meist um die Höhe des Wirbelbogengelenks beginnend und auf der rechten in der dorsalen Strebe der Begrenzung des Foramen costotransversarium kurz unterhalb des Gelenk-

sockels der Facies art. sup. Es handelt sich somit um Schrägbrüche des Axisbogens.

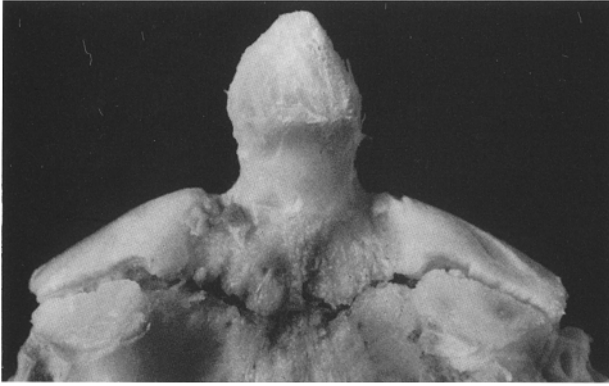
Betrachtet man die Schrägbrüche auf der linken Seite genauer, so lagen fast gleich häufig in derselben Höhe Frakturen mit und ohne Gelenkbeteiligung in der Facies art. inf. des Wirbelbogengelenks, überwiegend jedoch (56%) in den dorsalen Anteilen des Bogens vor, d. h. noch hinter dem Wirbelbogengelenk. In einem Fall war es dabei zu einem Stückbruch des Bogens gekommen.

Verlief linksseitig bei einer Gelenkbeteiligung der Bruchspalt durch das Wirbelbogengelenk, so war rechtsseitig dann die Facies art. sup. beteiligt. Insgesamt handelte es sich um 3 Fälle, davon einmal mit einer Absprengung des hinteren Randes und zweimal um einen Verlauf durch die Mitte des Gelenks, wie es die Abb. 2 zeigt. Somit bestand eine erhebliche Variabilität, nämlich vom fast frontalen Verlauf durch die obere Gelenkfläche bis zur fast horizontalen Absprengung (Abb. 3).

Betrachtet man abschließend die symmetrischen Frakturverläufe des kyphotischen Typs, so sei speziell auf eine Form verwiesen, die auch beim lordotischen beobachtet worden ist. Es handelt sich um den weit dorsal hinter den Facies art. inf. lokalisierten Bogenbruch, wie er als Extremfall in der Abb. 4 dargestellt worden ist.

## Diskussion

Wie eingangs zitiert, erlangt die Hangman's fracture in der allgemeinen Traumatologie und dabei zuvorderst beim Frontalauffahrunfall eine größere Bedeutung. So liegen auch im Vergleich zur klinischen Literatur nur sehr wenige Beschreibungen dieses Verletzungstyps beim Erhängen vor [21,25, 29, 33]. Dabei ist das Schädigungsmuster keineswegs eine reine knöcherner Verletzung mit lokalem Weichteiltrauma, sondern deren Kombination mit einer Verletzung der Bandscheibe C 2/3. Vielfach wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Weichteilverletzung erst die Voraussetzung für die Bogenfraktur gibt. So gehen die meisten Autoren davon aus, daß das Corpus axis erst durch eine Zerreißung des vorderen Längsbandes C 2/3 und einen Abriß der Bandscheibe von der Grund- und/oder Deckplatte weit mobilisiert werden muß, um eine ausreichende Biegebeanspruchung zur Fraktur des kräftigen Axisbogens erzeugen zu können. Zweifellos ist es für die Bruchmechanik wichtig, wo die Kraft genau eingeleitet wird, d. h. unter welchem Winkel die Dorsalflexion erfolgt. Danach wäre der Typ 1 der von Wood-Jones [33] beschriebene Typ mit einer submentalen Krafteinteilung. Ein zweiter Typ der Hangman's fracture ist von Williams [32] beschrieben worden, und zwar speziell nach einem Obergesichtsanprall. Das heißt, anders als bei dem Typ 1 ist die bestimmende Beanspruchung bei der Dorsalflexion nicht die primäre Traktion, sondern für Hinterhauptsschuppe und Neuralbogen von Atlas und Axis die Kompression unter ventraler Zugbeanspruchung. Hinterer Atlasbogen und Axisbogen werden somit gleichsinnig beansprucht. Und entsprechend demonstrierte Williams [32] radiologisch eine kombinierte bilaterale Pedikel- und hinterer Atlasbogenfraktur.



**Abb. 5.** Flexionsbruch des Axis mit Zerreißung der Facies articulares superiores und des Corpus bei einer 64jhrigen Frau nach Fersensturz aus 10 bis 12 m Höhe unter rechtsseitig tangentialen Anprall gegen einen stehenden PKW (L.Nr.615/79). Dabei ist die Halswirbelverletzung, bei fehlender direkter Traumatisierung von Kopf und Hals indirekt entstanden, Folge von Massenkräften. Demselben Mechanismus ist ein subtotaler Herzabri zuzuordnen

Als dritter Typ der Hangman's fracture wird die ventralflektierte Traktion diskutiert (Brashear et al. 1975; Seljeskog u. Chou 1976; Sköld 1978) und als vierte Entstehungsweise die mit der Traktion verbundene Rotation (Saternus et al. 1978).

Besteht bei der Hangman's fracture infolge einer traktionsbedingten Hyperextension — wenn der Axisdornfortsatz auf ein Widerlager angestemmt ist — in den unteren Teilen der Bogenwurzel Zugspannung und in den oberen Druckspannung, so kehren sich diese Verhältnisse mit der Ventralflexion um. Die Voraussetzungen für das Auftreten einer Hangman's fracture bei ventralflektierender Traktion sind somit dieselben wie für die Entstehung einer Densfraktur. ein insgesamt seltenes Ereignis (Daum u. Archer 1977), das sich jedoch in den Versuchsreihen bei beiden Denstypen gefunden hat.

Für den Flexionsbruch wären theoretisch zwei verschiedene Entstehungsweisen denkbar. So könnte einmal der Kraftschluß über die hinteren Bandsysteme von der Schädelbasis bis zum Axisbogen bei Unterbrechung des Lig. flavum in Höhe C 2/3 erfolgen. Die Fixation würde in diesem Fall über das vordere und hintere Längsband sowie die Zwischenwirbelscheibe C 2/3 erfolgen.

Die im Versuch eingesetzte Beanspruchung geht auf die Vorstellungen von Brashear et al. (1975) zurück. Danach wäre gemeinsam für die Densfraktur und die Hangman's fracture, daß der Kraftschluß über die dorsalen Bänder, und zwar speziell die M. atlanto. occ. post. erfolgt, hingegen die Unterbrechung, sei es durch elastisches Nachgeben oder Zerreißung, zwischen hinterem Atlas- und Axisbogen in der M. atlantoaxialis posterior liegt. Letzteres ist ein charakteristischer Befund für die Densfraktur [19, 20]. Zur Densfraktur kommt es aber bevorzugt bei hoher Horizontalschubkomponente, d.h. flachem Winkel der angreifenden Kraft, zur Hangman's fracture bei den konkreten Versuchen im Einzelfall ebenfalls bei flachen Winkelstellungen, speziell jedoch bei der 75° Winkelstellung. Wenn also über den Dens und das Corpus axis ein relativ stei-



ler ventraler Zug ausgeübt und der Axisbogen ligamentär und beim realen Unfall durchaus auch muskulär fixiert wird, werden sowohl das Corpus axis und der Dens als auch der Bogen auf Biegung beansprucht. Anhand eines eindrucksvoll demonstrierten Falles zeigt Sköld [26], daß dabei die dorsalen Partien der Bandscheibe C 2/3 unter hohe Zugbeanspruchung geraten und sich vom hinteren Längsband sowie von angrenzender Grund- und Deckplatte ablösen.

Eine geläufige Vorstellung ist es, daß der Axisbogen bei Biegebeanspruchung stets an seiner dünnsten Stelle breche. Diese Ansicht läßt sich nach den vorliegenden Untersuchungen nicht ohne Einschränkung übernehmen. Dabei bieten die Bruchversuche am Gipsmodell den Vorteil der Homogenität des Materials. Allerdings ließe sich einwenden, daß die Spongiosaverteilung eben gerade nicht homogen wie Gips sei.

Betrachtet man jedoch die Verletzungsform von ihrer gemeinsamen mechanischen Beanspruchung her, dann zeigen insbesondere die das Massiv der Gelenke durchsetzenden Frakturlinien, daß die reine Materialverteilung die Befunde nicht zu erklären vermag. Vielmehr kommt es dort zu Zerreißen, wo lokale Spannung und Festigkeit des Materials zueinander in der ungünstigsten Relation stehen. Dabei ist allerdings beim Knochen in der Regel die Festigkeit eine Funktion der Menge des vorhandenen Materials. Grundsätzlich dürfte man somit die durch Biegung entstandenen Bruchformen, seien es die durch den hinteren Bogen oder auch die durch die Facies articulares superiores mit breitem Einriß in das Corpus zum Typ der Hangman's fracture rechnen. Daß diese Einteilung nicht willkürlich ist, soll anhand der Abb. 5 belegt werden. Unterstützt wird diese Ansicht durch die biomechanische Analyse einer ventralflektierten Hangman's fracture mit Gelenkbeteiligung durch Sköld [26].

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen aber auch eine bisher noch unbekannt Abhängigkeit von der Neigung der Densachse und darüber hinaus, daß degenerative Veränderungen, die zu leichten Asymmetrien des Knochens führen, nennenswert die Konfiguration des Bruchmusters bestimmen.

## Literatur

1. Brashear R, Venters GC, Preston ET (1975) Fractures of the neural arch of the axis. *J Bone Joint Surg [Am]* 57: 879–887
2. Daum W, Archer CR (1977) Fracture of the odontoid associated with pedicle fracture of the axis: A previously undescribed entity. *J Trauma* 17: 381–386
3. DeLorme TL (1967) Axis pedicle fractures. *J Bone Joint Surg [Am]* 49: 1472
4. Durbin FC (1957) Fracture-dislocations of the cervical spine. *J Bone Joint Surg [Br]* 39: 23–38
5. Edgar MA, Fisher TR, McSweeney T, Park WM (1972) Tetraplegia from Hangman's fracture: Report of a case with recovery. *Injury* 3: 199–202
6. Fielding JW, Cochran van GB, Lawsing JF, Hohl M (1974) Tears of the transverse ligament of the atlas. A clinical and biochemical study. *J Bone Joint Surg [Am]* 56: 1683–1692
7. Finnegan MA, McDonald H (1982) Hangman's fracture in an infant. *Can Med Assoc J* 127: 1001–1002
8. Gelehrter G, Vittali HP (1960) Verletzungsformen der Halswirbelsäule mit Ausnahme der Kopfelenke. *Arch Orthop Unfall-Chir* 52: 287–310
9. Grogono BJS (1954) Injuries of the atlas and axis. *J Bone Joint Surg [Br]* 36: 397–410

10. Hipp E, Keyl W (1963) Frakturen an Atlas und Axis. *Fortschr Med* 81: 589–596
11. Karimi-Nejad A (1980) Indikation, Technik und Ergebnisse der operativen Behandlung von Halswirbelsäulen-(HWS)-Verletzungen. *Fortschr Neurol Psychiatr* 48: 183–206
12. Koebke J (1979) Morphological and functional studies on the odontoid process of the human axis. *Anat Embryol (Berl)* 155: 197–208
13. Krmpotić-Nemanić J, Keros P (1973) Funktionale Bedeutung der Adaptation des Dens axis beim Menschen. *Verh Anat Ges* 67: 393–397
14. Marar BC (1975) Fracture of the axis arch. "Hangman's fracture" of the cervical spine. *Clin Orthop* 106: 155–166
15. Maurice-Williams RS (1972) Survival after a "Hangman's fracture". *Guys Hosp Rep* 121: 327–331
16. McGrory BE, Fenichel GM (1977) Hangman's fracture subsequent to shaking in an infant. *Ann Neurol* 2: 82
17. Mestdagh H (1976) Morphological aspects and biomechanical properties of the vertebroaxial joint (C2–C3). *Acta Morphol Neerl Scand* 14: 19–30
18. Norrell H, Wilson CB (1970) Early anterior fusion for injuries of the cervical portion of the spine. *JAMA* 214: 525–530
19. Saternus K-S (1979) Die Verletzungen von Halswirbelsäule und von Halsweichteilen. Hippokrates, Stuttgart
20. Saternus K-S (1982) Verletzungen der Occipito-Atlanto-Axis-Region. *Z Orthop* 119: 662–664
21. Saternus K-S, Meßler H, Palm W (1978) Die knöcherner Verletzung der HWS beim Tod durch Erhängen. *Z Rechtsmed* 82: 55–69
22. Schneider RC, Livingston KE, Cave AJE, Hamilton G (1965) "Hangman's fracture" of the cervical spine. *J Neurosurg* 22: 141–154
23. Seljeskog EL, Chou SN (1976) Spectrum of the Hangman's fracture. *J Neurosurg* 45: 3–8
24. Sherk HH (1975) Lesions of the atlas and axis. *Clin Orthop* 109: 33–41
25. Sköld G (1978) Fracture of the axis caused by hanging. *Z Rechtsmed* 80: 329–331
26. Sköld G (1978) Fracture of the neural arch and odontoid process of the axis: A study of their causation. *Z Rechtsmed* 82: 89–103
27. Termansen NB (1974) Hangman's fracture. *Acta Orthop Scand* 45: 529–539
28. Torklus D von, Gehle W (1975) Die obere Halswirbelsäule, 2. Aufl. Thieme, Stuttgart
29. Vermooten V (1921) A study of the fracture of the epistropheus due to hanging with a note on the possible causes of death. *Anat Rec* 20: 305–311
30. Wackenheim A (1974) Roentgendiagnosis of the craniovertebral region. Springer, Berlin Heidelberg New York
31. White AA III, Panjabi MM (1978) Clinical biomechanics of the spine. Lipincott JB, Philadelphia Toronto
32. Williams TG (1975) Hangman's fracture. *J Bone Joint Surg [Br]* 57: 82–88
33. Wood-Jones F (1913) The ideal lesion produced by judicial hanging. *Lancet* I: 53

Eingegangen am 12. September 1984