

Das Verletzungsmuster des Zungenbeins* **

K.-S. Saternus¹ und J. Koebke²

¹ Institut für Rechtsmedizin der Universität Köln, Melatengürtel 60—62, D-5000 Köln 30

² Anatomisches Institut der Universität Köln, Joseph-Stelzmann-Str. 9, D-5000 Köln 41, Bundesrepublik Deutschland

Fractures of the Hyoid Bone

Summary. Based on the classification of hyoid bone into hyperbola-, parabola-, and horseshoe-shaped types, conditions were simulated under planar and punctiform ventral force as well as in case of strangulation in photoelastic experiment. The results thus obtained were compared to those from former investigations in the field of bone tissue density. Hence, each hyoid type shows characteristic patterns of lesion of its own. The patterns of fractures and localizations which had been expected theoretically could be verified when compared to lesions that occurred in vital state. Then it turned out that horizontal fractures were typical of lesions of hyperbolic hyoid bones and vertical fractures of the cornu maius typical of lesions of parabolic hyoid bones.

Key words: Hyoid bone, patterns of lesion – Strangulation, fractures of the hyoid bone

Zusammenfassung. Basierend auf der vorgeschlagenen Einteilung der Zungenbeinform in die Typen Hyperbel-, Parabel- oder Hufeisenform, werden die Verhältnisse bei flächiger und punktförmiger ventraler Krafteinleitung sowie beim Würgen im spannungsoptischen Versuch simuliert. Die dadurch gewonnenen Ergebnisse werden zu denen aus Untersuchungen der Materialverteilung in Beziehung gesetzt. Daraus ergab sich für jeden Zungenbeintyp ein charakteristisches Verletzungsmuster. Durch den Vergleich mit vital entstandenen Verletzungen erfolgte eine Bestätigung der theoretisch zu erwartenden Frakturformen und -lokalisationen. Dabei erwiesen sich die Horizontalfraktur als die typische Verletzung des hyperbelförmigen Zungenbeins und die Vertikalfraktur des Cornu majus als die der Parabelform.

Schlüsselwörter: Zungenbein, Verletzungsmuster, Würgen, Drosseln, Erhängen, Zungenbeinbrüche

* Auszugsweise vorgetragen auf der 56. Tag. Dtsch. Ges. Rechtsmed., Graz 1977

** Herrn Prof. Dr. E. Fritz zum 80. Geburtstag gewidmet

Einleitung

Knöcherne Verletzungen des Zungenbeins und selbst solche des Kehlkopfes werden in der Klinik nur selten diagnostiziert (Guernsey, 1954; Holdingner et al., 1959; Chadwick, 1960; Bennett, 1960; Lesoine, 1968; Poser et al., 1974).

So stellen die Brüche des Zungenbeins nach der häufig zitierten Angabe von Slack (1942) nur 0,002 Prozent aller Frakturen. Diese Verletzungshäufigkeit halten jedoch Lesoine (1968), Tamaska u. Hinz (1969) und Poser et al. (1974) für zu niedrig, denn ihrer Meinung nach steht bei schweren Schädel-, Hals- oder auch Rumpfverletzungen die Fahndung nach vitalen Verletzungen ganz im Vordergrund des diagnostischen Bemühens, und Frakturen von Kehlkopf und Zungenbein gelangen erst bei Behinderung der Atmung zu größerer Bedeutung. Außerdem können Symptome, die diese Frakturen hervorrufen, auch leicht mit den Folgen des häufig vorkommenden retropharyngealen Hämatoms verwechselt werden (Tamaska u. Hinz, 1969).

In der forensischen Medizin hat die Zungenbeinverletzung einen hohen Stellenwert, wie mittels postmortalen Untersuchungen bei Verwendung radiologischer und präparativer Techniken gezeigt werden konnte (Kunnen u. Van de Velde, 1965; Tamaska u. Hinz, 1969; Peters u. Umlandt, 1973; Saternus, 1977). Dieses Untersuchungsgut ist allerdings insofern selektioniert, als ihm nur tödliche Traumata zugrunde liegen. Unter diesen würde man bei den spezifisch rechtsmedizinischen Todesarten, wie Erhängen, Erwürgen und Erdrosseln, den höchsten Prozentsatz an Zungenbeinverletzungen erwarten. Er beträgt nach Laiho et al. (1968) sowie nach Peters u. Umlandt (1973) etwa 10%, nach Saternus (1977, 1978) etwa 20% und nach Weintraub (1961) 30—50%.

Ein Vergleich mit solchen tödlichen Traumata, bei denen es zu Kinnanprallverletzungen unterschiedlichen Ausmaßes gekommen war, ergab jedoch, daß dabei Zungenbeinfrakturen keineswegs seltener waren. So betrug bei 141 Fällen der Prozentsatz 24,5% (Saternus, 1977) und lag damit um vier Zehnerpotenzen über dem von Slack (1942) angegebenen Wert, der wohl auch dann, wenn man berücksichtigt, daß die Kollektive nicht direkt vergleichbar sind, als zu niedrig angesehen werden müßte.

Auch die Auffassungen über die Entstehung speziell der indirekt erzeugten Zungenbeinfrakturen sind noch kontrovers. So liefern u. a. Hamilton (1860), Stimson (1910), Marschik (1928), Forbes (1931), Olmstead (1949) und Reimann (1961) Beispiele dafür, daß es durch isolierte Muskelkontraktionen zu Zungenbeinabrissen oder Frakturen gekommen ist. Dem steht die Ansicht gegenüber, daß beim Erhängen oder bei einer Hyperextension aus anderer Ursache die großen Zungenbeinhörner gegen die HWS angestemmt werden, wodurch es in der Horizontalebene zu einer Biegebelastung komme.

Daß dieses Prinzip tatsächlich unabhängig von Muskelkräften wirksam wird, konnten Tamaska u. Hinz (1969) am Kölner Institut für Gerichtliche Medizin insofern beweisen, als es ihnen bei der Simulation von Schleudertraumata auf einer Beschleunigungsanlage (gelöste Totenstarre) gelang, Zungenbeinfrakturen zu erzeugen. Es ist damit jedoch nicht ausgeschlossen worden, daß beim Lebenden nicht auch beide Prinzipien wirksam werden können. Denn die Folge einer forcierten Dehnung der Halsmuskulatur, wie bei einem Schleudertrauma im

Sinne von Gay u. Abbott (1953), führt zu einer fast synchronen Erregung aller betroffenen Synapsen und damit reflektorisch zu einer Massenkontraktion eines ganz großen Teils der Muskelfasern, wodurch es zu einer zusätzlichen Belastung des gegen die Wirbelsäule gestemten Zungenbeins kommt.

Untersuchungsverfahren und Ergebnisse

a) Morphologische Grundlagen

Bei experimentellen Untersuchungen zur Entstehung von Zungenbeinfrakturen wäre es nach den vorangegangenen Ausführungen sinnvoll, für die Simulation des Erhängens oder der Hyperextension das Zungenbeinmodell frei beweglich mit den großen Hörnern gegen ein Widerlager angestemmt von ventral her zu belasten.

Man kann davon ausgehen, daß für die Lage einer Fraktur neben der Art der Gewalteinwirkung die Gestalt des knöchernen Elements und dessen Spongiosaarchitektur entscheidend sind.

Bereits bei der äußeren Form des Zungenbeins muß man differenzieren, denn das Zungenbein hat nicht nur eine charakteristische Grundform.

Eine systematische Untersuchung von 500 menschlichen Zungenbeinen aus dem laufenden Obduktionsgut des Instituts für Rechtsmedizin und aus dem Kurssaalmaterial des Anatomischen Instituts der Universität zu Köln ergab, wie an anderer Stelle mitgeteilt wird (Koebeke u. Saternus), eine Ausprägung der Gestalt in 3 Grundformen. Sie werden von uns als Hyperbel-, Parabel- und Hufeisenform bezeichnet. Diesen 3 Typen konnten 89% der aufgetretenen Formen zugeordnet werden. Daneben fanden sich in 11% Mischformen dieser 3 Typen, unter denen Kombinationen aus der Parabel- und Hyperbelform überwogen. Teilweise kamen aber auch ganz erhebliche Asymmetrien mit Abweichungen in der Horizontal- und/oder Sagittalebene vor, auf die in der vorliegenden Untersuchung nicht näher eingegangen werden soll.

Außer der Gesamtform einer knöchernen Struktur spielt bei deren mechanischem Verhalten die Art der Verbindung von Teigliedern eine Rolle.

Leopold u. v. Jagow (1961) nehmen eine geschlechtsgebundene Altersabhängigkeit der Verknöcherung der Junktur zwischen Corpus und Cornu majus an, worin sie eine Bestätigung der Untersuchungen Patenkos (1884) sehen. Das weibliche Zungenbein soll im Alter von 30—40 Jahren und das des Mannes von 45—55 Jahren durchgehend verknöchert sein.

Eine Überprüfung der von Patenko (1884) publizierten Fälle läßt jedoch keine derartige strenge Altersabhängigkeit erkennen. Auch die Auswertung des eigenen Materials, auf die an anderer Stelle näher eingegangen werden soll (Koebeke u. Saternus, 1979), ergab lediglich zwischen Alter und Verknöcherung ein Bestimmtheitsmaß von 10%. Es fand sich kein Geschlechtsdimorphismus hinsichtlich der zeitlichen Abfolge der Verknöcherungen. Unterschiede zwischen den Geschlechtern fanden sich hingegen in der Häufigkeitsverteilung der 3 Grundtypen. Weiterhin traten bei adulten Frauen insgesamt seltener Verknöcherungen der Junktur als bei Männern in vergleichbaren Altersklassen auf.

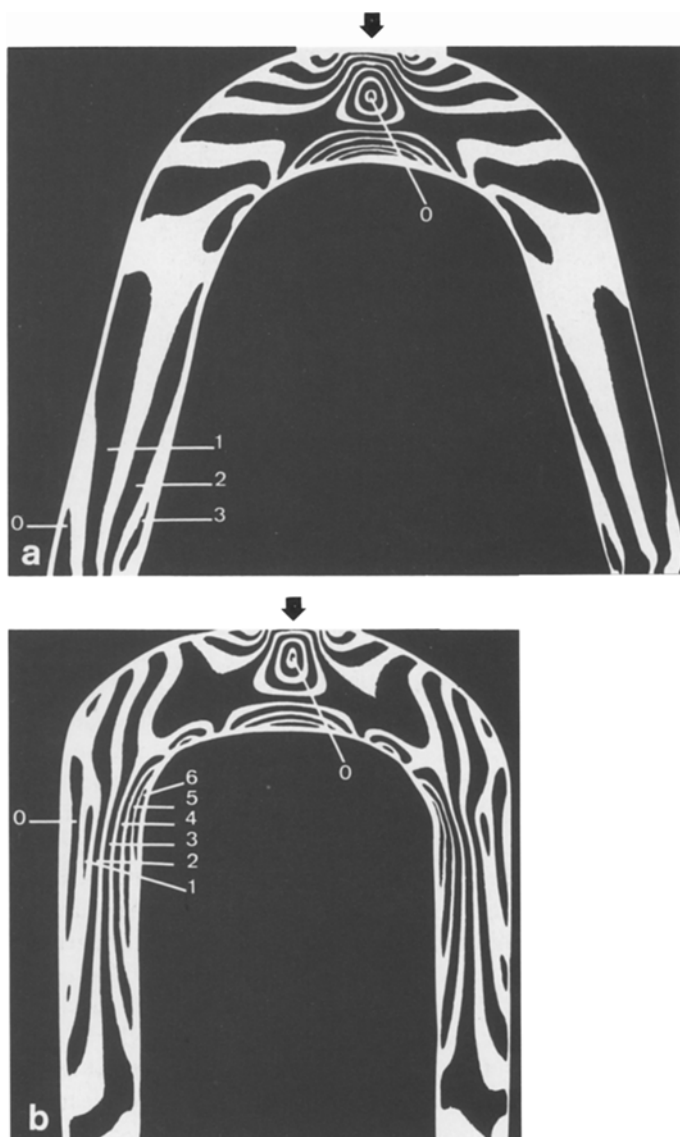


Abb. 1 a—c. Spannungsoptischer Versuch an Kunststoffmodellen der drei Zungenbeingrundtypen: **a** Hyperbel-, **b** Parabel-, **c** Hufeisenform zur Simulation punktförmiger Belastung von ventral (vergleichbar einem Schlag). Nähere Einzelheiten zur Verteilung der Isochromatenordnungen (hier schwarz) finden sich im Text

Außer der Verknöcherung der Junktur zwischen Corpus und Cornu majus und der Verbindung durch Hyalinknorpel fanden wir noch 2 weitere Formen, nämlich eine symphysäre und eine echte Diarthrose.

Für die Beurteilung der Spannungsverteilung nach definierter äußerer Belastung wurden von uns jedoch nur Modelle verwandt, die den Zustand der vollständigen Verknöcherung der Junktur von Corpus und Cornu majus darstellen.

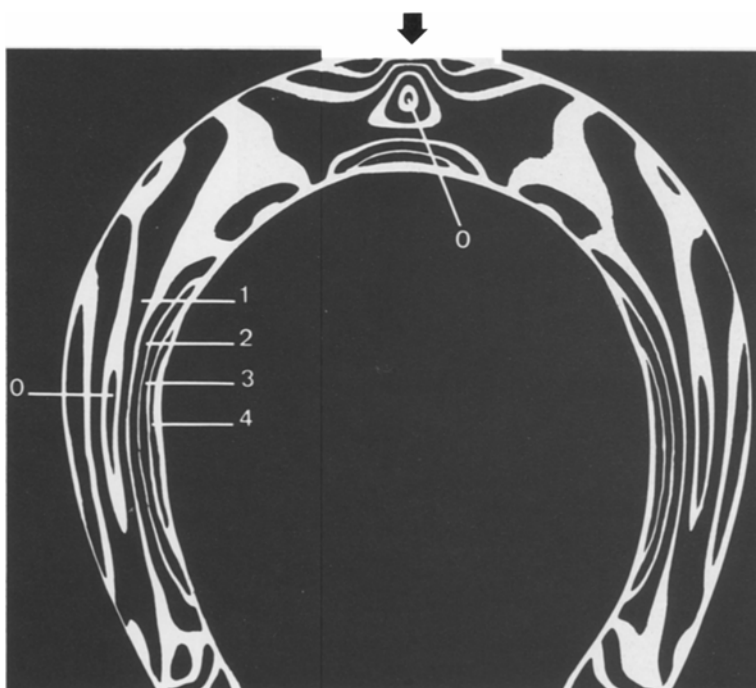


Abb. 1c

b) Im spannungsoptischen Modellversuch erzielte Ergebnisse

Die Untersuchungen wurden im spannungsoptischen Versuch an zweidimensionalen Kunststoffmodellen (VP 701, Dicke 10 mm) der 3 Grundtypen des Zungenbeins durchgeführt. Die spannungsoptische Methode wurde von Pauwels (1940) zur Lösung statischer Probleme in die medizinische Forschung eingeführt. Bei Belastung eines Modells treten im polarisierten Licht die sog. Farbgleichen (= Isochromaten) auf. Jeweils im Bereich einer solchen Linie gleicher Farben ist die Hauptnormalspannungsdifferenz ($\sigma_1 - \sigma_2$) gleich groß. Für linear oder flächenhaft eingeleitete Kräfte darf damit gerechnet werden, daß die Hauptnormalspannungsdifferenzen an verschiedenen Stellen eines beanspruchten Körpers zueinander in der gleichen Proportionalität stehen wie die Primärspannungen, so daß man die Ordnungszahlen der Isochromaten als *relatives* Maß für die örtlichen Spannungen ansehen kann. Je höher die Ordnungszahl einer Isochromate, um so größer ist die Hauptnormalspannungsdifferenz und damit die Primärspannung an der betreffenden Stelle. Eine ausführliche methodische Darstellung der Spannungsoptik findet sich bei Mesmer (1939), Föppl u. Mönch (1950) und bei Kummer (1959).

In den Abbildungen 1—3 sind Isochromatenbilder für die Hyperbel-, Parabel- und Hufeisenform des Zungenbeins bei jeweils flächiger und punktförmiger Krafteinteilung von vorn (Erhängen, Hyperextension, Schlag) sowie bei Komprimierung der großen Hörner nach innen (Erwürgen) dargestellt. Dabei ist es für die Simulation des Erwürgens hinsichtlich der Spannungsverteilung im Objekt

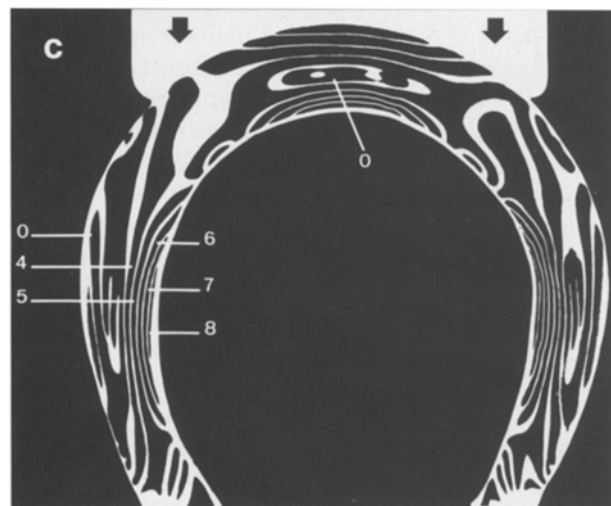
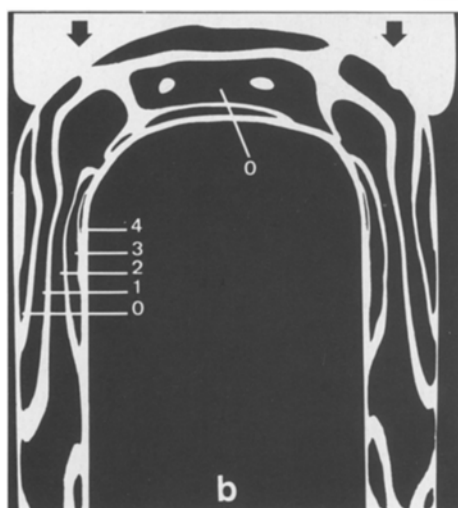
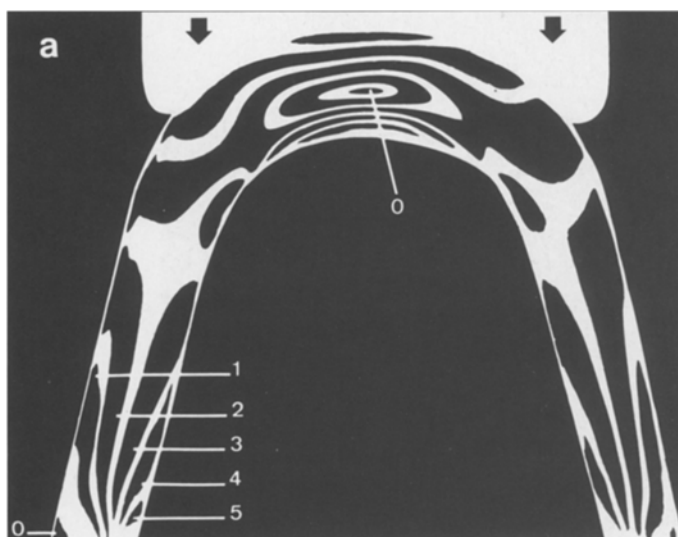


Abb. 2a—c

gleichgültig, ob die Krafteinleitung über eine äußere Kompression oder über Zug von innen erfolgt.

Zwischen flächiger und punktförmiger Belastung des Corpus von ventral her sind die Unterschiede in den 3 Grundtypen auf die direkte Umgebung des Ortes der Krafteinleitung beschränkt. Dort findet sich bei der Punktlast eine wesentlich höhere Isochromatenordnung als bei flächiger Belastung; dagegen sind auf der Dorsalseite für die dort dabei herrschende Zugbelastung keine stärkeren Unterschiede zu beobachten. Erheblich unterscheiden sich jedoch die Spannungsverteilungen innerhalb der 3 Grundtypen bei jeweils gleicher Form der Krafteinleitung. So liegen bei der ventralen Belastung die höchsten Isochromatenordnungen bei der Hyperbelform im äußeren Drittel auf der Druckseite innen, bei der Parabelform innen im corpusnahen Drittel und bei der Hufeisenform innen im mittleren Drittel. Eine Zugbelastung kann allenfalls bei der Hufeisenform belangvoll sein. Hier liegen auf dem Scheitel der Krümmung im großen Horn auf der Außenseite die Isochromaten 1. und 2. Ordnung, während bei den beiden anderen Typen die Nullisochromate ganz außen, bei der Hyperbelform außen unten liegt.

Sehr ähnlich ist die Spannungsverteilung wiederum für die 3 Grundtypen im Corpus und in Höhe der hier als knöchern durchbaut angenommenen Junktur zwischen Corpus und Cornu majus. Das Corpus wird jeweils auf Biegung belastet, d. h. auf der Ventralseite herrscht Druck- und auf der Dorsalseite Zugspannung. Entsprechend gleichen sich die Isochromatenordnungen, die aber dort jeweils niedriger als auf der Druckseite der großen Hörner sind. Im Bereich der Junktur findet sich bei allen Typen bei ventraler Krafteinleitung auf der Innenseite eine durch Zug hervorgerufene Spannung mit niedriger Isochromatenzahl, der auf der Außenvorderseite ein Pendant fehlt.

Um die Verhältnisse, wie sie beim Erwürgen in Frage kommen, zu simulieren, wurden an den Modellen die Spitzenpartien der großen Hörner mit einem Knebel zusammengezogen (Abb. 3). Über diesen langen Hebelarm wurde insbesondere der vordere Bogen (Corpus, die Gelenkregion und das obere Drittel der großen Hörner) belastet. Auf der Innenseite der Modelle finden sich dort recht hohe durch Druck und auf der Außenseite durch Zug hervorgerufene Spannungen. Die Spannungsverteilung unterscheidet sich somit wesentlich von der bei einer Krafteinleitung von ventral.

Neben der Betrachtung der Verhältnisse in der Horizontalebene muß auch die Spannungsverteilung in der Vertikalen berücksichtigt werden.

Abb. 2a–c. Spannungsoptischer Versuch an Zungenbeinmodellen: **a** Hyperbel-, **b** Parabel-, **c** Hufeisenform. Simulation der Verhältnisse bei flächiger ventraler Krafteinleitung, vergleichbar dem Erhängen, einem Erdrosseln oder einem Schleuder- oder Hyperextensionstrauma der HWS. Nähere Erläuterungen im Text

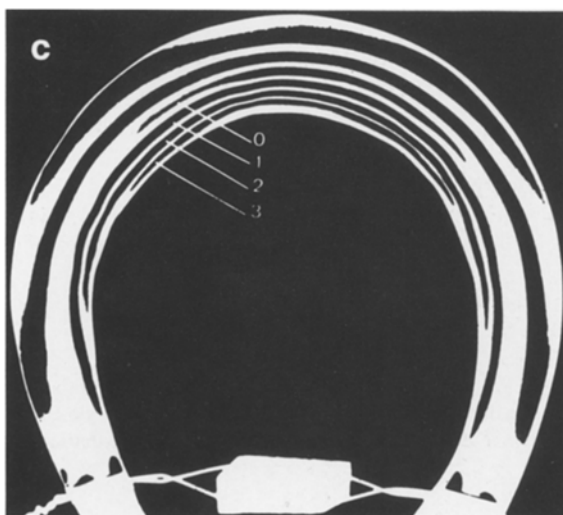
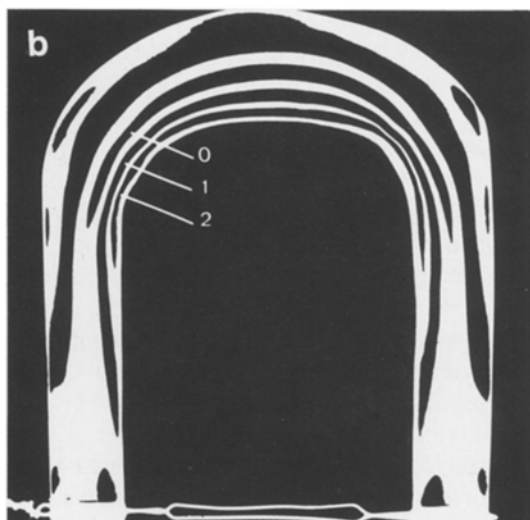
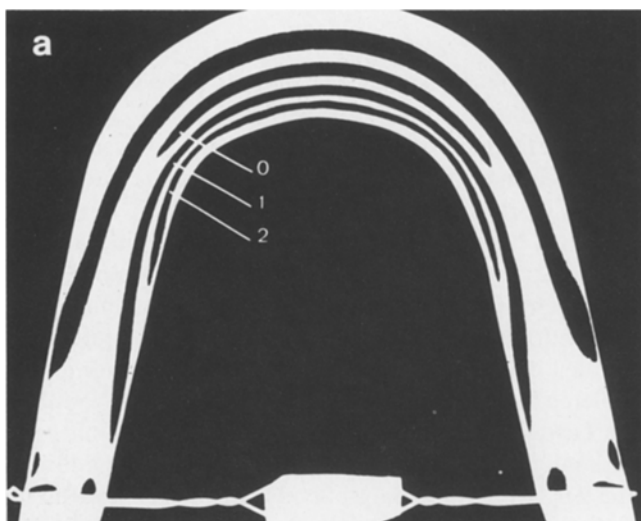


Abb. 3a—c

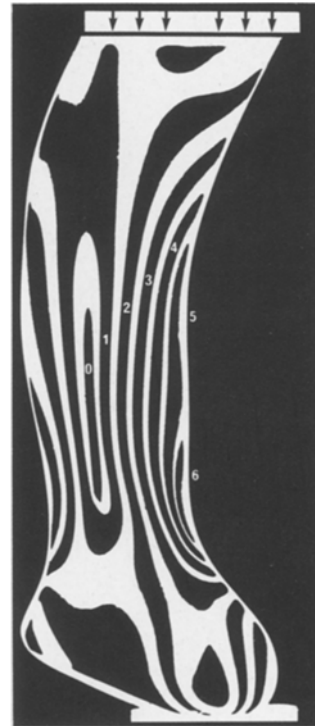


Abb. 4. Spannungsoptischer Versuch an dem Kunststoffmodell eines gegen die HWS leicht exzentrisch angestemmen Cornu majus des Zungenbeins bei ventraler Krafteinleitung. Einzelheiten der Isochromatenverteilung finden sich im Text

In Abbildung 4 ist das Isochromatenbild für ein Modell bei leicht exzentrischem Anstemmen des großen Horns gegen die HWS dargestellt. Das gering gebogene Cornu majus wird in diesem Versuch mit dem Knöpfchen gegen ein Widerlager gestemmt. Im äußeren Drittel, und zwar in der Verjüngung unterhalb des Knöpfchens, findet sich sowohl auf der Druck- als auch auf der Zugseite die höchste Isochromatenzahl. Sie erreicht dort auf der Druckseite die 6. und auf der Zugseite die 3. Ordnung. Aber auch in den mittleren Abschnitten des Cornu majus ist bei dieser gewählten Form des großen Horns und Art der Krafteinleitung, wie sie speziell beim Erhängen und bei der Hyperextension bedeutsam ist, eine hohe Isochromatenordnung zu erkennen. Entsprechend einer punktförmigen Krafteinleitung an der Auflagefläche des Knöpfchens können weiterhin lokal erhebliche Spannungen auftreten.

Abb. 3a—c. Spannungsoptischer Versuch an Zungenbeinmodellen aus Kunststoff: **a** Hyperbel-, **b** Parabel-, **c** Hufeisenform. Darstellung der Isochromatenordnungen nach Simulation des Würgens durch Zugbelastung nach innen. Angaben zur Spannungsverteilung finden sich im Text

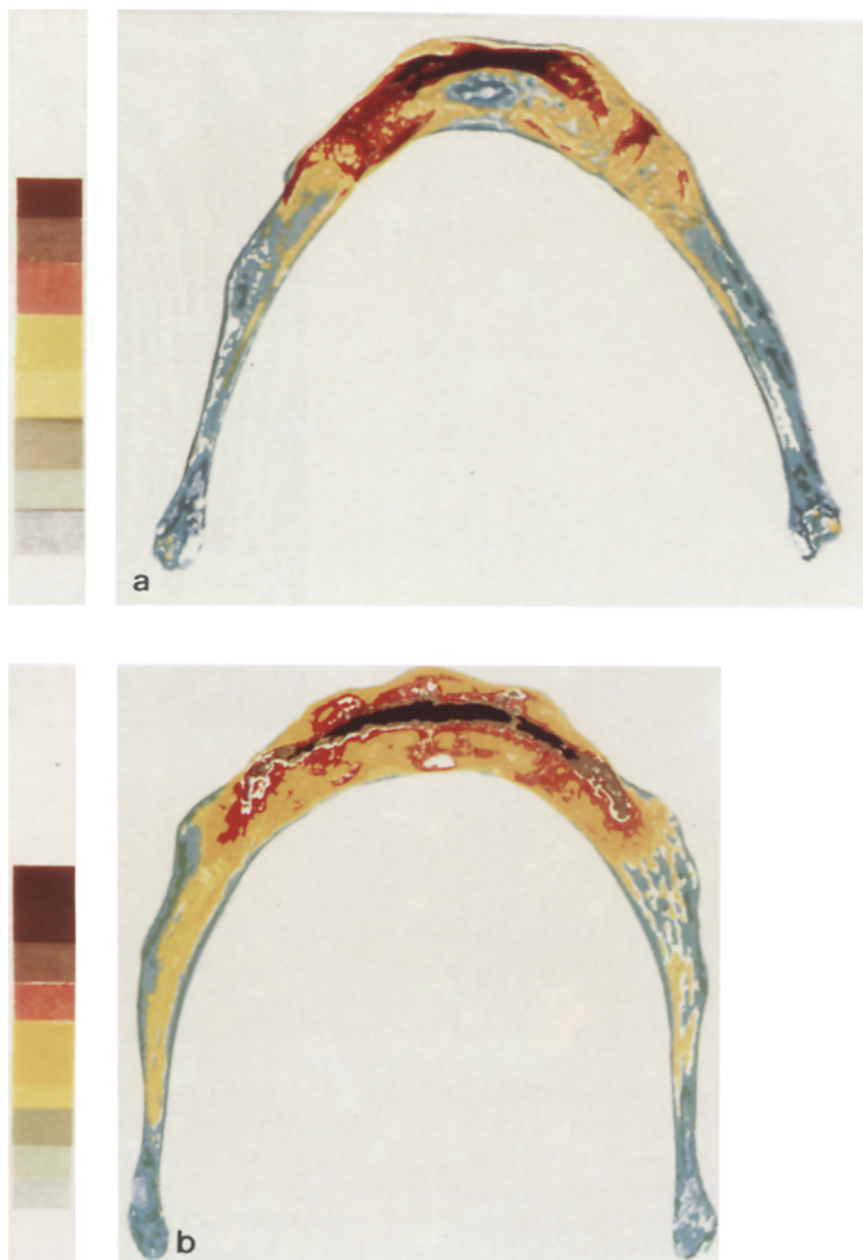


Abb. 5a—c. Darstellung der Dichteverteilung in den Zungenbeingrundtypen: **a** Hyperbel-, **b** Parabel-, **c** Hufeisenform mit Hilfe des Äquidensitenbildes; Skalierung erfolgt über einen Vergleichskeil aus Aluminium

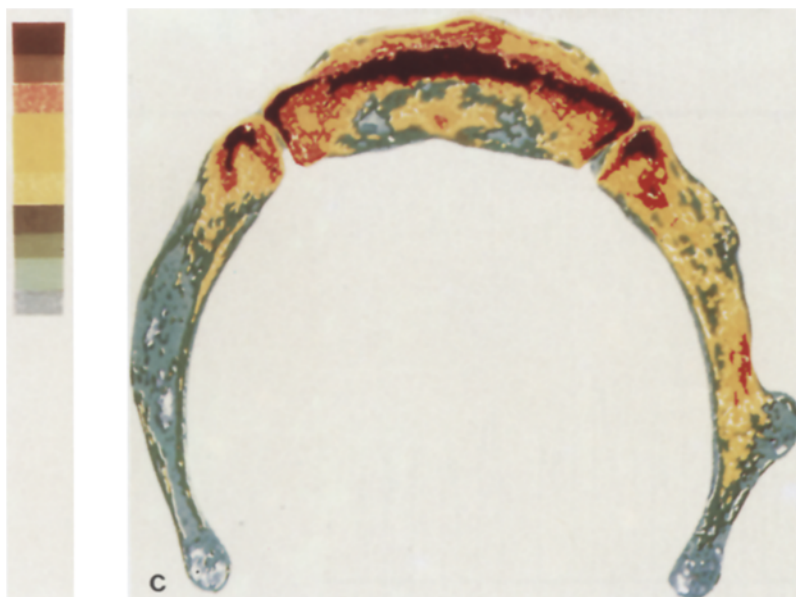


Abb. 5c

c) Ergebnisse aus dem Äquidensiten- und densitometrischen Verfahren

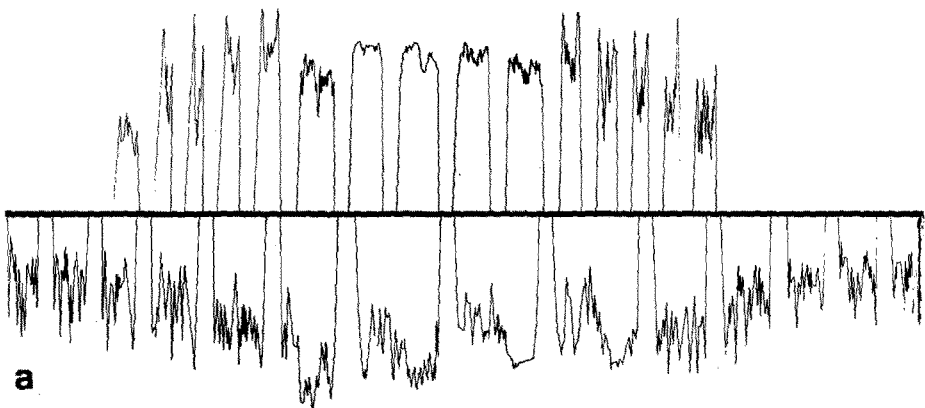
Die spannungsoptischen Modellversuche ergeben jedoch allein noch keine verbindliche Auskunft über das Frakturverhalten des Zungenbeins. Eine sinnvolle Zuordnung ist erst dann möglich, wenn man die Materialverteilung in unterschiedlichen Zungenbeintypen genauer kennt.

Zur Beurteilung des Summationsbildes wurden 2 Verfahren angewandt, die auf der Auswertung röntgenologisch faßbarer Dichteunterschiede beruhen.

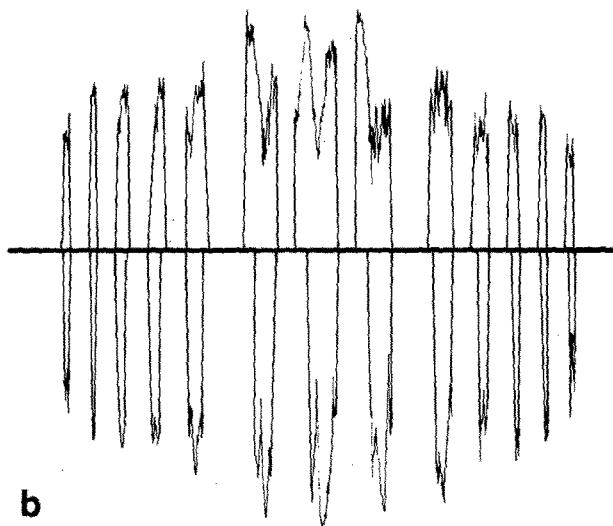
Das erste, eine halbquantitative Methode, ist die Darstellung im Äquidensitenbild. Dem lagen Röntgenaufnahmen der 3 Grundtypen (Abb. 5) im cranio-caudalen Strahlengang zugrunde. In den Objekten selber fanden sich erhebliche Dichteunterschiede. Dabei liegt im Corpus relativ viel und in den peripheren Abschnitten der großen Hörner wenig Material. Die dichtesten Zonen in Form bandförmiger Schwärzungen im vorderen Corpusdrittel sind jedoch Folge einer Überprojektion mit dem Unterrand.

Sehr reichlich Material findet sich bei der Parabel- und Hyperbelform in Höhe der ehemaligen Junktur, in der Hyperbelform mit einer kleinen zentral gelegenen Verkalkung — ein nicht ganz seltener Befund, auf den Olmstead (1949) aufmerksam gemacht hat.

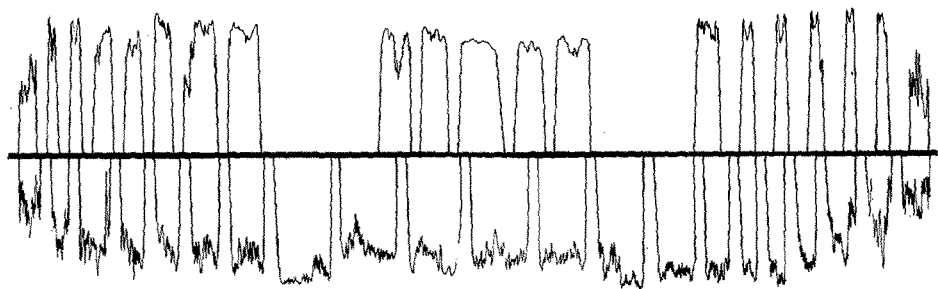
Hyperbel- und Parabelform unterscheiden sich darin, daß bei der Parabelform in der gewählten Betrachtungsebene in den inneren $\frac{2}{3}$ des großen Horns reichlich



a



b



c

Abb. 6a—c. Röntgenologisch faßbare Dichteverteilung in Zungenbeinen vom a) Hyperbel-, b) Parabel- und c) Hufeisenformtyp anhand der densitometrischen Darstellung. Die jeweils obere Kurvenschar entspricht dem Äquidensitenbild der Abb. 5 (Horizontalebene = cranio-caudaler Strahlengang), die untere der Vertikalebene. Punktmessungen über die gesamte Breite erfolgten auf den Röntgenaufnahmen in beiden Ebenen jeweils im 5-mm-Abstand. Die Meßbereiche waren somit nicht selektionierte, sondern zufällig verteilt. Die prinzipielle Unabhängigkeit der Methode vom Maßstab zeigt ein Vergleich zwischen 6b und 6a sowie 6c. **a** Horizontalebene (obere Kurvenschar), 5 Meßbereiche (Mb.) über dem linken Cornu majus (C.m.), 5 über dem Corpus und 5 über dem rechten C.m. Vertikalebene: 5 Mb. über li. C.m., 4 Corpus, 5 re. C.m. **b** Horizontalebene: 5 Mb. li. C.m., 3 Corpus, 5 re. C.m., Vertikalebene: 5 Mb. li. C.m., 3 Corpus, 5 re. C.m. **c** Horizontalebene: 8 Mb. li. C.m., 5 Corpus, 7 re. C.m., Vertikalebene: 7 Mb. li. C.m., 5 Corpus, 9 re. C.m.

Material recht gleichmäßig verteilt ist, bei der Hyperbelform dagegen nur im vorderen Drittel. Hier erkennt man weiterhin, daß die Compacta auf der Außenseite nur gelenknah, auf der Innenseite aber bis zur Mitte des großen Horns kräftig ausgebildet ist.

Übereinstimmend für beide Formen ist es jedoch, daß im äußeren Drittel, dem schmalsten Abschnitt und dem Knöpfchen, insgesamt am wenigsten Material vorhanden ist. Das wird auch in der zweiten Darstellungsart, der densitometrischen Untersuchung, deutlich. Die obere Kurvenschar in der Abb. 6 entspricht dem Äquidensitenbild (cranio-caudaler Strahlengang), die untere stammt von Röntgenaufnahmen, die senkrecht dazu angefertigt wurden. An der Peakhöhe und -breite erkennt man, daß im äußeren Drittel der großen Hörner am wenigsten Material vorhanden ist.

Abweichend von den anderen beiden Grundtypen lag der Hufeisenform ein Präparat mit einer Artikulation zwischen Corpus und Cornu majus zugrunde.

Hier liegen, beide Teile des Gelenks betreffend, in der subchondralen Verdichtungszone die höchsten Peaks (Abb. 6c Corpus linke Seite und 1. Peak vom rechten Cornu majus; beide in der dorso-ventralen Röntgenaufnahme).

Hinsichtlich der Materialverteilung besteht in den großen Hörnern in dem konkret untersuchten Objekt eine deutliche Asymmetrie. Auf der linken Seite verläuft ein sehr kräftiges Spongiosabündel vor und im Bereich einer breiten Apophyse von vorn außen nach hinten innen. Im 4. und 5. Peak der ventro-dorsalen Aufnahme des linken großen Horns imponiert es als in den mittleren Partien (Spongiosa) gelegene, die Compacta überragende Spitze. Derartige ein- oder auch beidseitig vorkommenden Muskelhöcker und damit dieses Spongiosabündel wurden nur bei der Hufeisenform beobachtet.

Diskussion

Auch wenn die Knochenbruchfestigkeit nicht ausschließlich eine Funktion der röntgenologisch bestimmbaren Knochendichte ist (Amtmann u. Schmitt, 1968), so konnten doch durch die Untersuchung der Materialverteilung (Densitometrie und Äquidensitenbild) so erhebliche Unterschiede in der Knochendichte innerhalb der einzelnen Zungenbeine und zwischen den 3 Grundtypen festgestellt werden, daß damit die Orte der geringsten Belastungsfähigkeit festgelegt waren.

Für die Hyperbelform wäre danach bei flächiger oder punktförmiger ventraler Krafteinleitung eine hohe Spannung im äußeren Drittel der großen Hörner, also an einem Ort, der am materialschwächsten ist, anzunehmen. Das würde bedeuten, daß dort eine Horizontalfraktur erwartet werden kann.

Geringe Isochromatenordnungen treten noch in Höhe der hier als verknöchert angenommenen Junktur auf. Bei noch erhaltener Beweglichkeit dürften jedoch nicht dieselben Verhältnisse vorliegen. Auf der Dorsalseite bleibt allerdings Zug die entscheidende Belastungsart. Interessanterweise findet man aber nur selten beim Erhängen dort komplette Rupturen, häufiger Einblutungen, auf der Ventralseite verständlicherweise bei diesem Zungenbeintyp keine Verletzungen. Ein Grund, weshalb es dorsal selten zu größeren Zerreißen kommt, ist sicher auch darin zu sehen, daß das Gelenk hier mit einer kräftigen Kapsel, auf der Ventralseite

Tabelle 1. Verletzungsmuster des Zungenbeins bei ventraler Krafteinleitung und beim Erwürgen

Verknöcherung	Beidseitig		Einseitig			Unverknöchert			
	bds.	eins.	bds.	verkn. Seite	unverkn. Seite	bds.	eins.		
	v.K.	w	v.K.	w	v.K.	w	v.K.	v.K.	w
<i>Parabelform</i>									
Junktur	—	—	—	—	—	—	—	—	—
corpusnahe	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittelteil	V+ 1H	4V	—	—	—	—	1V	1H	—
äußeres Drittel	—	1V	1H	1V	—	—	2V	—	—
Knöpfchen	—	—	—	—	—	—	2H	—	—
<i>Hyperbelform</i>									
Junktur	—	—	—	—	—	—	1	—	—
corpusnahe	—	—	—	—	—	—	1 ^a	—	—
Mittelteil	—	—	—	—	—	—	2H	—	—
äußeres Drittel	—	6H	—	—	3H	—	1H	4H	—
Knöpfchen	—	—	—	—	—	—	1 ^a	1H	—
<i>Hufeisenform</i>									
Junktur	—	—	—	—	—	—	1	—	—
corpusnahe	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Mittelteil	—	—	—	1 ^a	—	—	1H	1H	—
äußeres Drittel	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Knöpfchen	1	—	—	1 ^a	—	—	—	—	—

H = Horizontalfraktur, V = Vertikalfraktur, v.K. = ventrale Krafteinleitung, w = Würgen, bds. = beidseitig, eins. = einseitig, verkn. = verknöchert, unverkn. = unverknöchert

^a Multiple Frakturen an einem Zungenbeinhorn

hingegen mit einer nur zarten Kapsel und einer meniskoiden Falte ausgestattet ist. Diese anatomischen Gegebenheiten, auf die an anderem Ort noch näher eingegangen werden soll, werden auch für das Verletzungsmuster des Zungenbeins beim Erwürgen bedeutungsvoll, wenn sich Druck und Zug im Vergleich zur ventralen Krafteinleitung (Erhängen, Erdrosseln, Schlag, Hyperextensions-trauma) ein- oder beidseitig umkehren. Dann nämlich ist das Gelenk gegen diese Art der Belastung durch die zarte ventrale Kapsel nur wenig gesichert, eine Zerreißung ebendort zu erwarten.

Kein grundsätzlicher Unterschied zur Hyperbelform dürfte hinsichtlich des Würgens bei der Parabelform anzunehmen sein. Durchaus different sind die Verhältnisse jedoch bei ventraler Krafteinleitung. Dabei finden sich die höchsten Isochromatenordnungen im corpusnahen Drittel der großen Hörner auf der Innenseite. Hier sind die Cornua majora in beiden Betrachtungsebenen noch recht breit, und man erkennt eine relativ hohe Dichtestufe im Äquidensitenbild und in der densitometrischen Darstellung. Viel weniger Material liegt hingegen in

den schmälere Partien des äußeren Drittels. In dieser Gegend treten bei der meist nicht zentrischen Anstimmung des großen Horns gegen die HWS nicht in Horizontal-, sondern in der Vertikalebene auf der Druckseite eine sehr hohe Isochromatenordnung und auch auf der Gegenseite eine hohe Zugspannung auf. Es wäre danach zu erwarten, daß bei diesem Zungenbeingrundtyp nicht die Horizontal-, sondern die Vertikalfaktur im äußeren Drittel des großen Horns nach ventraler Krafteinleitung dominierte.

Weder mit der Parabel- noch mit der Hyperbelform sind die mechanischen Verhältnisse bei der Hufeisenform vergleichbar. Recht hohe Isochromatenordnungen treten bei diesem Grundtyp im kräftigen Mittelteil der großen Hörner auf der Innenseite auf, relativ geringe Zugspannungen auf dem Scheitel der Krümmung, also auf der Außenseite. Zug war weiterhin sowohl bei ventraler Krafteinleitung als auch bei der Simulation des Würgens auf der Ventralseite der Junktur die bestimmende Spannungsqualität. Deshalb ist im Gegensatz zu den beiden anderen Grundtypen bei der Hufeisenform kein Rückschluß aus der Form der Verletzung auf die Art der Gewalteinwirkung möglich.

Diese theoretischen Vorstellungen von der Entstehung der Zungenbeinverletzungsmuster sollen anhand tatsächlich gefundener Verletzungen auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden. Dazu sollen Angaben aus der Literatur herangezogen und wegen der Einführung der 3 Zungenbeingrundtypen eigene Fälle ausgewertet werden.

Bei v. Hofmann (1886; 1891) finden sich Beispiele für eine Sprengung der Junktur, Frakturen der großen Hörner an der Basis und in den spitzenwärtigen Partien. Nach Kratter (1919) und Marschik (1928) prädisponiert eine Ankylose zwischen Corpus und Cornu majus zum Bruch, dabei soll nach Marschik die Fraktur bevorzugt in der Mitte des großen Horns, im Bereich der Junktur, selten im Corpus liegen. Nach Lésoine (1966) kommt es bei einer Verknöcherung der Junktur in dieser zur Fraktur, zu Luxationen dann, wenn noch keine Verknöcherung erfolgt ist. Ohne nähere Angaben über den Verknöcherungsmodus wird der bevorzugte Frakturbereich von Christopher (1950) mit der Mitte des großen Horns oder der Nähe der Junktur, von Guernsey (1954) und von Porrath (1969) die Junktur selber angegeben. Nach Peters u. Umlandt (1973) waren bei der Auswertung von 40 Zungenbeinverletzungen die äußeren Drittel oder die Spitzen des Cornu majus unabhängig vom Verknöcherungsmodus der Junktur bevorzugt betroffen. Relativ selten kam es zu Frakturen in den mittleren Abschnitten, in keinem Fall zu solchen an der Basis der großen Hörner, in 10% zu Luxationen, einmal darunter bei einer inkompletten Verknöcherung der Junktur.

Die Ergebnisse dieser Autoren stützen also keineswegs die Auffassung, daß es erst nach eingetretener Verknöcherung zur Fraktur, anderenfalls zur Luxation, also zur Zerreißung der Verbindung zwischen Corpus und Cornu majus, komme, und gleichfalls nicht die Vorstellung von der Zunahme der Vulnerabilität des Zungenbeins als Folge der Verknöcherung.

Es erscheint also auch aus diesen Gründen sinnvoll, weitere Fälle unter Berücksichtigung der Grundtypen zu überprüfen. Dazu werden die Formen der ventralen Krafteinleitung dem Erwürgen in Tabelle 1 gegenübergestellt.

In voller Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Peters u. Umlandt (1973) war die Junktur zwischen Corpus und Cornu majus nur in etwa der Hälfte der

Zungenbeinverletzungen verknöchert. Bei ventraler Krafteinleitung wurde die Junktur lediglich in 2 Fällen gesprengt.

Wie aufgrund der Modellversuche zu erwarten war, erwiesen sich sowohl die Lage als auch die Art der Fraktur als von der Zungenbeinform, vom Grundtyp, abhängig. So überwogen bei der Hyperbelform die Frakturen im äußeren Drittel des großen Horns weit gegenüber jeder anderen Lokalisation. Wenn auch theoretisch dabei eine Vertikalfaktur auftreten kann, so scheint es doch gerechtfertigt, die Horizontalfraktur als den klassischen Frakturtyp der Hyperbelform nach ventraler Krafteinleitung zu bezeichnen.

Völlig andere Verhältnisse hinsichtlich der Lokalisation und der Form der Fraktur finden sich bei der Parabelform. Dabei überwogen weit die Vertikalfrakturen, und der Bruchbereich erstreckte sich etwa in der Hälfte der Fälle auf die mittleren Abschnitte des großen Zungenbeinhorns.

Interessanterweise kam es einmal neben einer Vertikalfaktur in dem einen Cornu majus zu einer Horizontalfraktur im anderen. Als Entstehungsmöglichkeit einer Horizontalfraktur bei der in dieser Ebene als recht druckfest anzunehmenden Parabelform wäre — in jedem Fall und nicht erst nach einer eingetretenen Fraktur — eine seitenungleiche und somit exzentrische Belastung der großen Hörner beim Anstemmen gegen die HWS zu erwägen.

Mechanische Gründe lassen es also nach dem vorliegenden Vergleich von vital entstandenen Zungenbeinverletzungen mit den entsprechenden Modellversuchen sinnvoll erscheinen, bei der Frakturanalyse des menschlichen Zungenbeins in foro die vorgeschlagenen Grundtypen zu verwenden.

In einer späteren Untersuchung soll der noch nicht beantworteten Frage nachgegangen werden, ob es sich bei den hier betrachteten äußeren Gewalteinwirkungen gegen den Hals um eine quantitative Steigerung der physiologischen Beanspruchung des menschlichen Zungenbeins handelt, die Spongiosa also darauf angepaßt ist, oder ob auch eine Änderung der Qualität anzunehmen ist.

Literatur

- Amtmann, E., Schmitt, H. P.: Über die Verteilung der Corticalisdichte im menschlichen Femurschaft und ihre Bedeutung für die Bestimmung der Knochenfestigkeit. *Z. Anat. Entw. Gesch.* **127**, 25—41 (1968)
- Bennett, T.: Laryngeal trauma. *Laryngoscope* **70**, 973—982 (1960)
- Chadwick, D. L.: Closed injuries of the larynx and pharynx. *J. Laryngol.* **74**, 306—324 (1960)
- Christopher, F.: A textbook of surgery. Philadelphia-London: W. B. Saunders Comp. 1950⁵
- Föppl, L., Mönch, E.: Praktische Spannungsoptik. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1950
- Forbes, S. B.: Fracture of the greater cornu of the hyoid bone: Perforation of pharynx. *J. Fla. Med. Assoc.* **17**, 585 (1931) (zit. nach Olmstead)
- Gay, J. R., Abbott, K. H.: Common whiplash injuries of the neck. *J. Am. Med. Assoc.* **152**, 1698—1704 (1953)
- Guernsey, L. H.: Fractures of the hyoid bone. *J. Oral. Surg. (Chicago)* **12**, 241—246 (1954)
- Hamilton, F. H.: A practical treatise on fractures and dislocations. Philadelphia: Blanchard & Lea, 1860
- Hofmann, E. v.: Zur Kenntnis der Entstehungsarten von Kehlkopffrakturen. *Wien. Med. Wochenschr.* **44**, 1466—1470 (1886)
- Hofmann, E. v.: Weitere Beobachtungen von indirekten Kehlkopffrakturen, insbesondere durch Sturz auf den Kopf. *Wien. Klin. Wochenschr.* **36**, 663—665 (1891)

- Holdinger, P. H., Johnston, K. C.: Laryngeal trauma and its complications. *Am. J. Surg.* **97**, 513—517 (1959)
- Koebke, J., Saternus, K.-S.: Zur Morphologie des adulten menschlichen Zungenbeins. *Z. Rechts-med.* **84**, 7—18 (1979)
- Kratter, J.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin II, gerichtsärztliche Praxis. Stuttgart: F. Enke 1919
- Kummer, B.: Bauprinzipien des Säugerskeletes. Stuttgart: G. Thieme 1959
- Kunnen, M., Van de Velde, E.: Fortschritte auf dem Gebiet der postmortalen Mikroradiographie des Kehlkopfes. *Fortschr. Röntgenstr.* **103**, 376—383 (1965)
- Laiho, K., Isokoski, M., Hirvonen, J., Ojala, K., Marttila, A., Tenhu, M.: Über die Obduktionsbefunde beim Selbstmord durch Erhängen. *Dtsch. Z. Gerichtl. Med.* **63**, 63—69 (1968)
- Leopold, K., v. Jagow, G.: Das Röntgenbild des Kehlkopfes — eine Möglichkeit zur Altersbestimmung. *Beitr. Gerichtl. Med.* **21**, 181—191 (1961)
- Lesoine, W.: Über Frakturen und Luxationen des Zungenbeines. *HNO* **14**, 122—124 (1966)
- Lesoine, W.: Pathologie und Klinik der Zungenbeinkette. *Monatsschr. Ohrenheilk.* **102**, 369—376 (1968)
- Marschik, H.: Verletzungen des Kehlkopfes, der Luftröhre und der Bronchien. In: *Hdb. Hals-, Nasen-, Ohren-Heilkunde*, A. Denker, O. Kahler (Hrsg.). Berlin: Springer; München: J. F. Bergmann 1928
- Mesmer, G.: Spannungsoptik. Berlin 1939
- Olmstead, E. G.: Fracture of the hyoid bone. *Arch. Otolaryngol.* **49**, 266—274 (1949)
- Patenko, T.: Der Kehlkopf in gerichtlich-medizinischer Beziehung. *Vjschr. Gerichtl. Med.* (4. F.) **XLI**, 193—230 (1884)
- Pauwels, F.: Grundriß einer Biomechanik der Frakturheilung. *Verh. Dtsch. Orth. Ges.*, 34. Kongreß (1940). *Gesammelte Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1965
- Peters, K., Umlandt, P.: Röntgendiagnostik zur Erkennung von Verletzungen des Kehlkopfgerüsts und Zungenbeines. *Beitr. Gerichtl. Med.* **30**, 345—355 (1973)
- Porrath, S.: Roentgenologic considerations of the hyoid apparatus. *Am. J. Roentgen.* **105**, 63—73 (1969)
- Poser, H., Weidauer, H., Jacobsen, J.: Röntgenschnittuntersuchungen bei Kehlkopfverletzungen. *Fortschr. Röntgenstr.* **120**, 707—718 (1974)
- Reimann, W.: Zungenbein- und Schildknorpelbrüche beim Verkehrsunfallgeschehen. *Dtsch. Z. Gerichtl. Med.* **52**, 70—75 (1961)
- Saternus, K.-S.: Verletzungen des Halses durch direkte und indirekte Gewalteinwirkungen. *Habilitationsschrift*, Köln 1977
- Saternus, K.-S.: Verletzungen der Halswirbelsäule beim Suizid durch Erhängen. *Z. Rechtsmed.* **81**, 299—308 (1978)
- Slack, H. R.: Fractures of the hyoid bone. In: *Textbook surgery*, Christopher Frederick (ed.), p. 617. Philadelphia: W. B. Saunders Comp. 1942³
- Stimson, L.: A practical treatise on fractures and dislocations. Philadelphia: Lea & Febiger 1910⁶
- Tamaska, L., Hinz, P.: Kehlkopfverletzungen bei Schleudertraumen der Halswirbelsäule. *Zbl. Verkehrs. Med.* **15**, 98—104 (1969)
- Weintraub, C. M.: Fracture of the hyoid bone. *Med. Leg. J.* **29**, 209—216 (1961)

Eingegangen am 2. Mai 1979