

ÖSTERREICHISCHES JOURNAL FÜR SPORTMEDIZIN

1
78

S. DOSKOCZIL, F. GREITER, P. BILEK u. L. PROKOP:
Zur Präzisierung des Hautdurchblutungsfaktors

R. JELINEK, R. HOF u. F. SELLNER:
Skateboard-Verletzungen

W. PLATZER u. R. PUTZ:
Anatomische Besonderheiten der Wirbelsäule

R. GÜNTHER:
Indikation zur Physiotherapie in der Sportmedizin

Sport und Ernährung

Buchbesprechungen



ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN

ÖSTERREICHISCHES JOURNAL FÜR SPORTMEDIZIN

HERAUSGEGEBEN VOM
ÖSTERREICHISCHEN INSTITUT FÜR SPORTMEDIZIN

8. Jahrgang

1978

Nr. 1



Anatomische Besonderheiten der Wirbelsäule

Werner Platzer und Reinhard Putz

Die Untersuchung der normalen Funktion der Wirbelsäule ist nach wie vor einer der Schwerpunkte der anatomischen Grundlagenforschung. Von besonderem Interesse sind für uns dabei die Beziehungen zwischen einzelnen morphologischen Merkmalen der Wirbelsäule und deren funktioneller Wertigkeit. In diesem Rahmen wollen wir uns im besonderen mit drei Gesichtspunkten auseinandersetzen:

- 1) Morphologische Merkmale des 1. Brustwirbels in Beziehung zu seiner ausgesetzten Position am Übergang vom Halsabschnitt zum Brustabschnitt der Wirbelsäule.
- 2) Besondere Einrichtungen der Wirbelgelenke.
- 3) Die Wirkungsweise der Gelenke des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes im Rahmen der Rotationsbeanspruchung des Stammes.

1. Merkmale des 1. Brustwirbels

Beim Studium der Form des Körpers einzelner Wirbel ist uns aufgefallen, daß sich im Bereich der Deckplatte des 1. Brustwirbels Fortsätze finden, die in ihrer Form weitgehend mit den *Processus uncinati* der Halswirbel vergleichbar sind.

Seit langem haben sich viele Autoren (LUSCHKA, 1862; TONDURY, 1958 u.v.a.) mit den Fortsätzen der Halswirbelkörper und den sich daraus ergebenden Auswirkungen auf die *Disci intervertebrales* beschäftigt, während die in ähnlicher Weise ausgebildeten Fortsätze des ersten Brustwirbels kaum beachtet werden, obwohl sie in bezug auf Form, Funktion und auch Entwicklung sehr viele Gemeinsamkeiten aufweisen.

Die *Processus uncinati* der Halswirbelsäule entwickeln sich nach TONDURY (1958) aus dem ventrolateralen Abschnitt der Wirbelbögen.

Ihre Verknöcherung soll im 9. Lebensjahr abgeschlossen sein, danach erst richten sie sich zu ihrer vollen Höhe auf. Nach cranial hin erhalten sie eine oft scharfe Kante, auf die

sich auch die Randleiste der Wirbelkörperdeckplatte erstreckt. Im Bereich des 3. bis 6. Halswirbels sind diese scharfkantigen Erhebungen annähernd sagittal eingestellt (Abb. 1). Die verbreiterte Basis allerdings

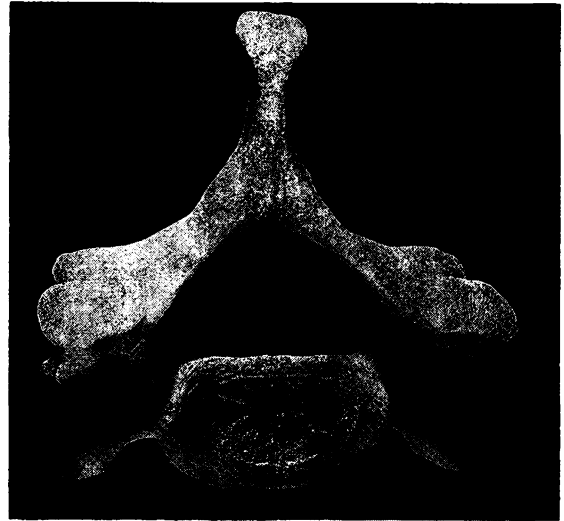


Abb. 1a: 6. Halswirbel von oben

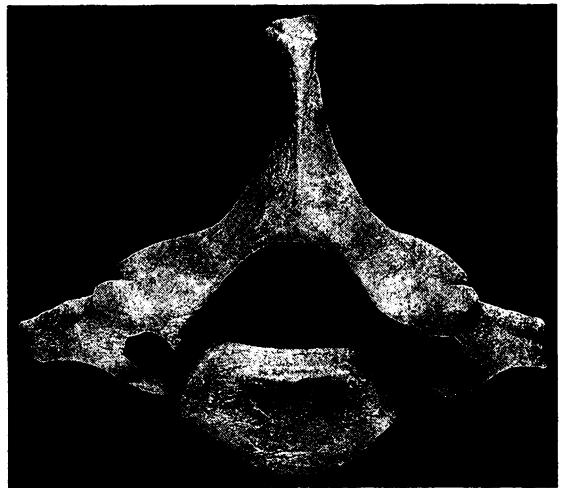


Abb. 1b: 7. Halswirbel von oben

weicht nach dorsal zu von der Sagittalebene ab und läuft nach medial aus.

Dieser dorsale Abschnitt der Processus uncinati bildet die vordere Begrenzung der Incisura vertebralis superior und ist als solcher senkrecht zum Pediculus arcus vertebrae angeordnet.

Der Processus uncinatus des 7. Halswirbels ist zumeist in ähnlicher Weise ausgebildet (Abb. 1).

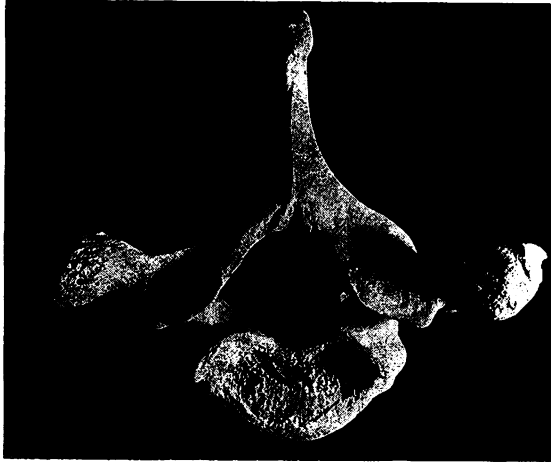


Abb. 1c: 1. Brustwirbel von oben

Allerdings verläuft seine Kante nicht streng sagittal sondern fällt nach vorne zu so abrupt ab, daß der Processus dadurch eine Spitze erhält und seine Kante schräg nach lateral gerichtet erscheint.

Beim 1. Brustwirbel ist der Vorderrand des Processus noch schärfer abgesetzt, es fehlt im Vergleich zu den Halswirbeln der vordere Anteil.

Dadurch erscheinen die Processus annähernd in der Frontalebene ausgerichtet und sind senkrecht auf die Pediculi arcus eingestellt (Abb. 1).

Die Höhe der Processus uncinati des 1. Brustwirbels schwankt von Präparat zu Präparat, die Werte liegen zwischen 4 — 8 mm, im Durchschnitt 5,8 mm (PUTZ, 1976). Neben der absoluten Höhe der Processus, gemessen von der Deckplatte der zugehörigen Wirbel, ist vor allem die Beziehung zur Incisura vertebralis superior bemerkenswert.

Für die unteren Halssegmente und das Segment C7-Th1 ist es charakteristisch, daß die

Incisura vertebralis superior jeweils tiefer als das Niveau der Deckplatte eingeschnitten ist. Vom 2. Brustwirbel an liegt in der gesamten Brustwirbelsäule dagegen die Incisura vertebralis superior über dem Niveau der Deckplatte (Abb. 2).

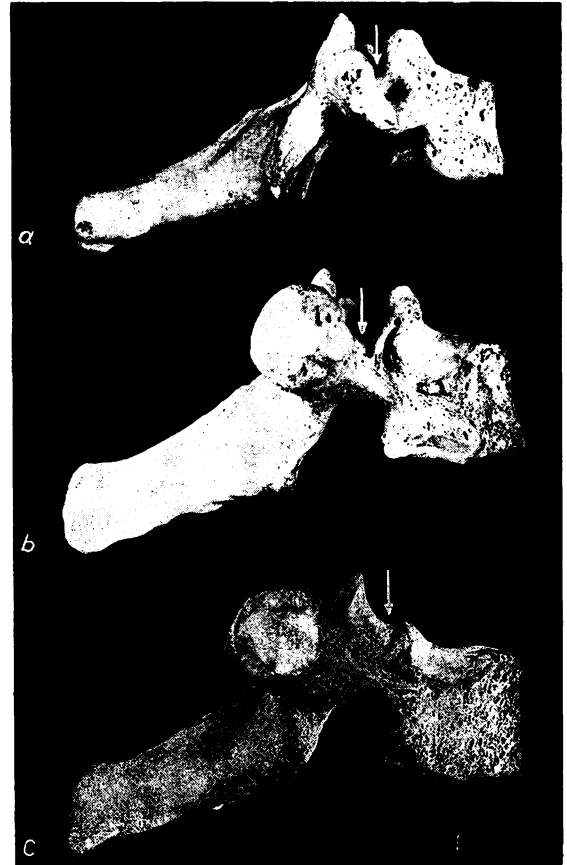


Abb. 2a: 7. Halswirbel von rechts

b: 1. Brustwirbel von rechts

c: 2. Brustwirbel von rechts

Die Pfeile weisen auf die Incisura vertebralis superior hin.

An Wirbelsäulen, bei denen Merkmale einer Kaudal- bzw. einer Kranialvariation vorhanden waren, beobachteten wir, daß zugleich auch eine Verschiebung der typischen Ausbildung der Wirbelformen — sowohl in bezug auf das Gebiet der Processus uncinati als auch das Verhältnis zwischen den Processus uncinati und der jeweils zugehörigen Incisura vertebralis superior — zu finden ist.

Von klinischer Seite wurde den Processus uncinati des ersten Brustwirbels bislang sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Grund dafür ist sicherlich darin zu suchen, daß sich die oberste Brustwirbelsäule in den meisten röntgenologischen Projektionen, abgesehen von tomographischen Aufnahmen, so schlecht darstellen läßt.

In der a—p Aufnahme sowie meistens auch in den schrägen Aufnahmerichtungen heben sich die Processus uncinati nicht von den Processus articulares ab, in den lateralen Darstellungen sind sie überlagert von Scapula, bzw. Clavicula und sogar von der 1. Rippe.

2. Besondere Einrichtungen der Wirbelgelenke

Dem Aufbau nach entsprechen die Wirbelgelenke den übrigen Gelenken des menschlichen Körpers, weisen aber eine Reihe von Besonderheiten auf, die mit der Aufgabe in Zusammenhang stehen, welche sie im Rahmen der Funktion der einzelnen Bewegungssegmente zu erfüllen haben.

So ist etwa auf die unterschiedliche Form von knorpeliger und knöcherner Gelenkfläche hinzuweisen. Es ist von verschiedenen Gelenken bekannt, daß die hyaline Knorpelauflagerung nicht gleichmäßig ausgebildet ist und daß in Abhängigkeit von der funktionellen Beanspruchung vor allem an den großen Gelenken beträchtliche Dickenunterschiede bestehen.

Innerhalb der Wirbelsäule ist das Atlanto-axialgelenk ein besonders eindrucksvolles Bei-

spiel dafür. Bei diesem Gelenk finden wir eine auffallende Diskrepanz zwischen der Form der Knorpeloberfläche und der knöchernen Unterlage. Am Frontalschnitt (Abb. 3a) sieht man gut, daß die einander zugewandten knöchernen Gelenkflächen von Atlas und Axis in der Frontalebene konkav gewölbt sind, während die hyaline Knorpelschicht des Axis eine eher konvexe Oberfläche besitzt (PUTZ u. POMAROLI, 1972).

Für die Untersuchung der Mechanik des lateralen Teiles des Atlanto-axialgelenkes hat man vornehmlich mazerierte Knochenpräparate benützt. Aus der Beurteilung der mazerierten Präparate ist auch die Theorie von Rudolf FICK im Jahre 1902 entstanden, nach der es bei der Rotation im unteren Kopfgelenk zu einem Tiefersinken des Atlas auf dem Axis um mehr als 2 mm komme. Führt man dieselben Rotationsversuche an Präparaten durch, bei denen die Knorpeloberflächen noch unversehrt sind, so findet man bei einer Rotation bis zu 26 Grad sowohl nach rechts wie auch nach links eine Verschiebung in der Longitudinalachse um höchstens 0,5—1 mm. Ein weiteres Tiefersinken erfolgt erst bei einer Drehung bis ca. 35 Grad, dabei müssen jedoch sowohl die Gelenkkapsel als auch verschiedene Bänder zwischen Atlas und Axis zerstört werden. Am Beispiel des Atlanto-axialgelenkes ist auf besonders eindrucksvolle Weise darzustellen, daß einer Beurteilung der Gelenkmechanik die Form der Knorpeloberfläche zugrunde zu legen ist und nicht allein die Gestalt der knöchernen Grundlage. Natürlich finden wir auch an allen übrigen Wir-



Abb. 3a: Frontalabschnitt durch das Atlanto-Axialgelenk,



Abb. 3b: Sagittalschnitt durch den lateralen Teil des Atlanto-Axialgelenkes.

belgelenken unterschiedliche Schichtdicken der Gelenkknorpel, vor allem im zentralen Bereich ist die Knorpelauflagerung meist stärker als am Rand (Abb. 3b).

Die Oberflächenkrümmungen der Gelenkflächen sind nicht kongruent, der Kontakt zwischen ihnen erfolgt in den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule in unterschiedlicher Weise. Jedenfalls bleibt an den Rändern des Gelenkspaltes jeweils ein im Querschnitt flach dreieckiger Spalt zwischen den Gelenkflächen frei.

Neben den charakteristischen Verhältnissen der Gelenkknorpel ist für die Wirbelgelenke die Gelenkkapsel von besonderer Bedeutung. Die Membrana fibrosa ist als Ausdruck der geringen mechanischen Funktion relativ einfach gebaut und besitzt keine wesentlichen Verstärkungszüge.

Die Membrana synovialis zeigt demgegenüber eine Reihe von besonderen Einrichtungen, wie Plicae synoviales, Fettpolster und meniscoide Falten wie sie vor allem von TONDURY (1940), DÖRR (1958, 1962), und auch KELLER (1958) mehrfach beschrieben wurden. Diese flachen, in scharfe Ränder auslaufenden Gebilde umgeben nahezu den gesamten Gelenkspalt und gleichen in der Ruhestellung der Gelenke die Inkongruenz der Gelenkkörper aus (Abb. 3).

Aufgrund der geringen Festigkeit der gesamten Gelenkkapsel sind sie in der Lage, bei der Verschiebung der Gelenkkörper zueinander leicht auszuweichen. Ihre Bedeutung kommt besonders gut zum Ausdruck, wenn man sich vor Augen hält, daß die kleinen Wirbelgelenke zwar drei Freiheitsgrade besitzen, daß die Gelenkkörper aber keinswegs Kugel- bzw. Hohlkugelsegmente darstellen. In jedem Wirbelgelenk treten bei extremen Bewegungsbeanspruchungen keilförmige Spalträume auf, was für den Bereich des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes DITTMAR schon 1930 zeigen konnte. Besonders ist dabei auf den oberen und unteren Recessus der Gelenkkapsel hinzuweisen. Die Membrana synovialis als innere Schichte der Recessus ist am Rande des hyalinen Gelenkknorpels befestigt und kleidet im Anschluß daran vor allem entlang der caudalen Begrenzung der Processus articulares superiores eine oft sehr tiefe Rinne des Arcus vertebrae aus.

3. Zur Funktion der lumbalen Wirbelgelenke
Es gibt eine Reihe von Untersuchungen über diese Gelenke und ihre Funktion. Allerdings wurde vor allem ihre Beweglichkeit in der Sagittal- und Frontalebene, also in den Ebenen, die mit radiologischen Methoden relativ leicht zugänglich sind, untersucht, während auf die Rotationsbewegung bzw. Rotationsbeanspruchung kaum eingegangen wird.

Wir haben an isolierten Präparaten (= isolierte Bewegungssegmente nach JUNGHANS, 1951) Bewegungsversuche angestellt und diese mit der Form der beteiligten Gelenkflächen in Übereinstimmung zu bringen versucht (PUTZ, 1976).

Als erstes ist uns aufgefallen, daß die Gelenkflächen der Processus articulares superiores bzw. inferiores der Lendenwirbel keineswegs — wie in der Literatur zumeist beschrieben — generell mit zylindrisch gekrümmten oder planen Gelenkflächen versehen sind (PUTZ, im Druck). Wir konnten 3 verschiedene Grundtypen von Formen feststellen (Abb. 4).

- a) Die erste Gruppe entspricht der in der Literatur beschriebenen rein zylindrischen Form, wir fanden sie bei 33,7% der untersuchten Wirbel.
- b) 66,3% der ausgewerteten Flächen waren als zweite Gruppe im Gegensatz dazu nicht zylindrisch gekrümmt. Eine ziemlich große Anzahl davon, nämlich 40,7% hatte unregelmäßig gekrümmte Oberflächen, und bei 25,6% fanden wir Gelenkflächen, welche 2 Anteile aufweisen, die in einem Winkel zueinander stehen (Abb. 6). Dabei liegt der ventrale, kleinere Abschnitt der Gelenkfläche eher parallel zur Frontalebene, während der größere Abschnitt nach dorsal ausgerichtet ist. Zur Orientierung dieser dorsalen Anteile der Gelenkflächen zu den Körperebenen ist festzustellen, daß sie natürlich in Beziehung zur segmentalen Höhe innerhalb der Lendenwirbelsäule steht, in diesem Rahmen soll darauf aber nicht besonders eingegangen werden.

In ähnlicher Weise haben wir die Gelenkflächen der Processus articulares inferiores untersucht (Abb. 5). Auch hier fanden sich 3 Grundtypen: Erstens eine kleinere Anzahl zylindrisch geformter Gelenkkörper, zweitens eine Gruppe mit im wesentlichen

PROCESSUS ARTICULARES SUPERIORES






 <p>$r: \bar{x} = 11,5 \text{ mm}$</p>	  	 <p>$\bar{x} = 125^\circ$</p>
<p>33,7 %</p>	<p>40,7 %</p>	<p>25,6 %</p>
<p>66,3 %</p>		

Abb. 4: *Processus articulares superiores:*
a zylindrische Form
b nicht zylindrisch gekrümmt
c abgewinkelte Form

planen Gelenkflächen, die allerdings im Bereich ihrer Vorderkante sehr häufig Ab-
 rundungen aufwiesen und drittens als
 größte Gruppe, nämlich 43,3% die, deren
 Gelenkflächen deutlich abgewinkelt wa-
 ren (Abb. 6).

Um das Bild abzurunden, müssen wir dar-
 auf hinweisen, daß die Gelenkflächen von
 sehr vielen *Processus articulares inferiores*
 nicht ganz eindeutig zuzuordnen sind. Bei
 diesen Gelenkflächen (Abb. 6f) ist die
 Oberfläche im mittleren Abschnitt zylind-
 risch gekrümmt und läuft gegen die
 Spitze in einen deutlichen First aus, wel-
 cher 2 Gelenkfacetten voneinander trennt.
 Diese Fälle haben wir in der Gruppe der
 zylindrischen Gelenkflächen angeführt.

Selbstverständlich muß in diesem Zusam-
 menhang auch die Dicke der Gelenkkör-

per berücksichtigt werden. In Überein-
 stimmung mit verschiedenen anderen
 Autoren (REICHMANN, 1971) konnten
 wir — wie schon erwähnt — feststellen,
 daß die Knorpelaufgabe auch im Lenden-
 abschnitt der Wirbelsäule im Zentrum der
 Gelenkflächen im allgemeinen etwas dik-
 ker ist als am Rande. Dennoch wird da-
 durch die Grundform der Gelenkfläche
 nicht wesentlich verändert. Rechte und
 linke Gelenkfläche — ein- und desselben
 Wirbels — stellen auch im Falle einer
 Symmetrie keineswegs Segmente einer ge-
 meinsamen geometrischen Flächendarstel-
 lung dar, entgegen der Auffassung, die sich
 in der orthopädischen Literatur sehr häu-
 fig findet.

Diese morphologischen Feststellungen ver-
 anlaßten uns, den Versuch zu unterneh-

PROCESSUS ARTICULARES INFERIORES

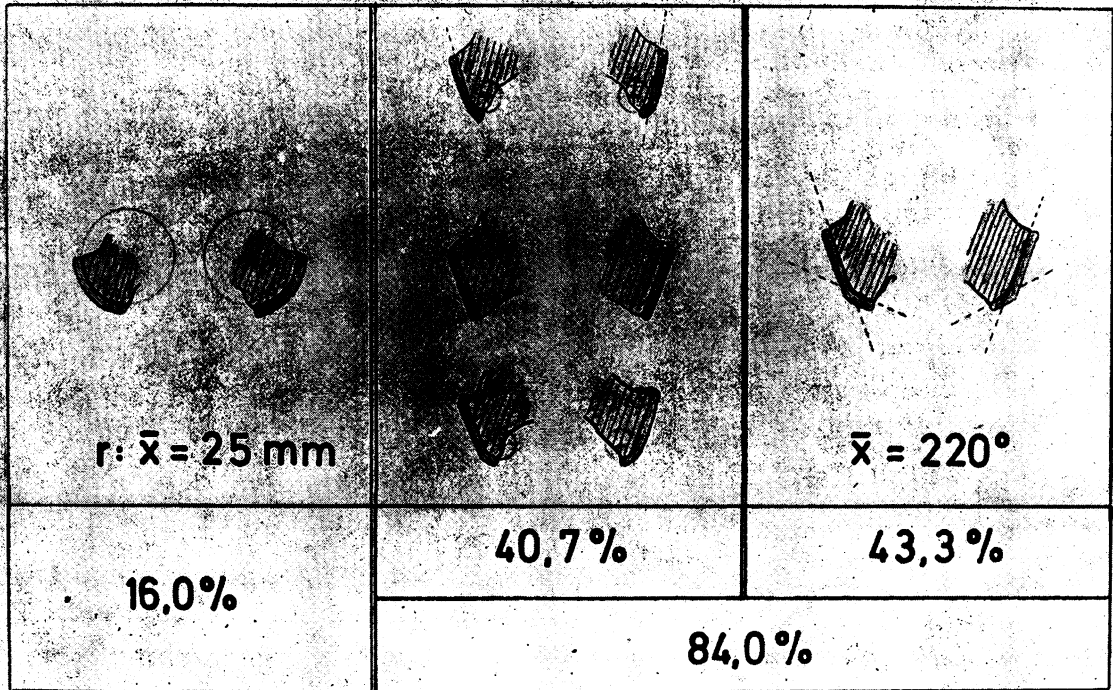


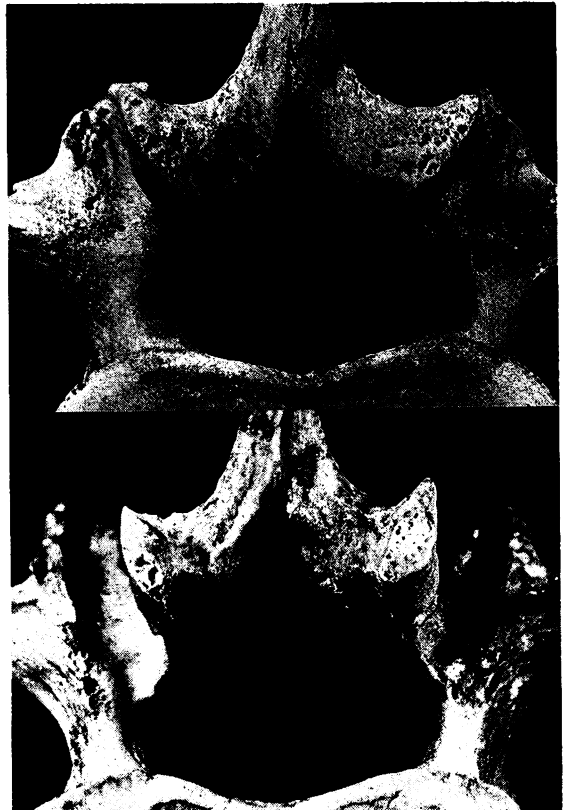
Abb. 5: *Processus articulares inferiores:*
 a) *zylindrische Form*
 b) *nicht zylindrisch gekrümmt*
 c) *abgewinkelte Form*

men, die Mechanik des lumbalen Bewegungssegmentes bei der Rotationsbeanspruchung neu zu interpretieren. Abbildung 7a zeigt, an welchen Punkten die Kräfte angreifen, die zur Rotation in diesem Wirbelsäulenabschnitt führen. Aus dieser Darstellung geht hervor, daß die minimal mögliche Rotation in einem lumbalen Bewegungssegment um ein Rotationszentrum stattfindet, welches in der Mitte des Discus intervertebralis gelegen sein muß. In der Endstellung der Drehbewegung ändern sich die mechanischen Verhältnisse der Rotation allerdings wesentlich.

In Abb. 7b haben wir zu berücksichtigen versucht, daß nun zusätzliche Kräfte im dorsalen Bereich der Proc. articulares wirk-

sam werden. Einerseits besteht nach wie vor ein gewisser Zug durch tiefe Anteile der autochthonen Rückenmuskulatur, andererseits erfolgt zusätzlich eine Druckbelastung in der Folge der passiven Weiterleitung der Drehkräfte von Wirbel zu Wirbel.

In der Endphase der Rotationsbeanspruchung spielt nun ohne Zweifel die Gestalt der einzelnen Gelenkfläche die entscheidende mechanische Rolle. Aus ihrer Form läßt sich ableiten, daß die Kräfte Momente der Rotation um einen Hebelpunkt wirksam werden, welcher am Übergang vom dorsalen zum ventralen Abschnitt der beteiligten Gelenkflächen gelegen ist. Damit erhalten die auf den Discus wirkenden Belastungen einen sehr viel längeren He-



belarm. Ein großer Teil der an den dorsalen Abschnitten des Wirbels ansetzenden Kräfte wird damit aufgefangen. Die Kräfte, die im Sinne der Scherung auf den Discus intervertebralis — im besonderen auf den Anulus fibrosus — wirken, verhalten sich entsprechend dem Hebelgesetz. Dadurch bleibt die Belastung der lumbalen Bandscheiben bei maximaler Rotationsbeanspruchung in Grenzen.

Das Ausmaß der Rotationsbewegung ist vom Grad der Lordosierung der Lendenwirbelsäule abhängig. Am Beispiel der axialen Röntgenaufnahme eines isolierten lumbalen Bewegungssegmentes ist dieser Zusammenhang relativ einfach zu demonstrieren.

Abb. 6: Beispiele verschiedener Formen der Gelenkkörper: Proc. art. sup. (a zylindrische Form, b nicht zylindrisch gekrümmt, c abgewinkelte Form)

Proc. art. inf. (d zylindrische Form, e abgewinkelte Form, f im mittleren Abschnitt zylindrisch gekrümmt, gegen die Spitze abgewinkelt)

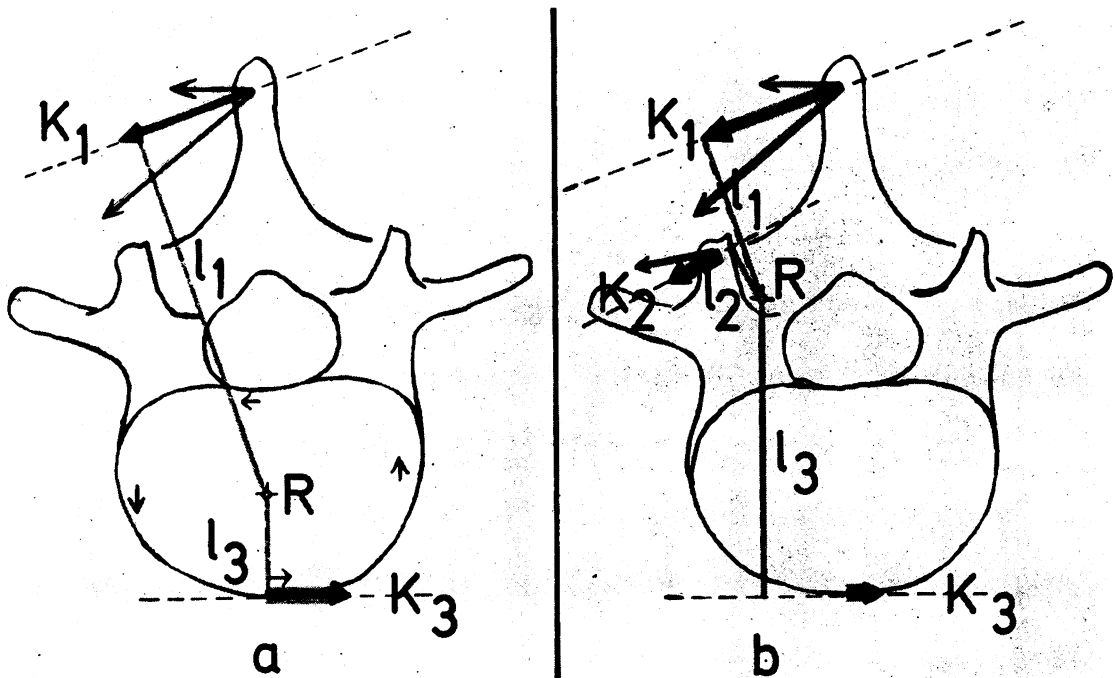


Abb. 7: Wirkende Kräftepaare und Lage der Hebelpunkte: a während der Rotation, b in der Endstellung der Rotation.

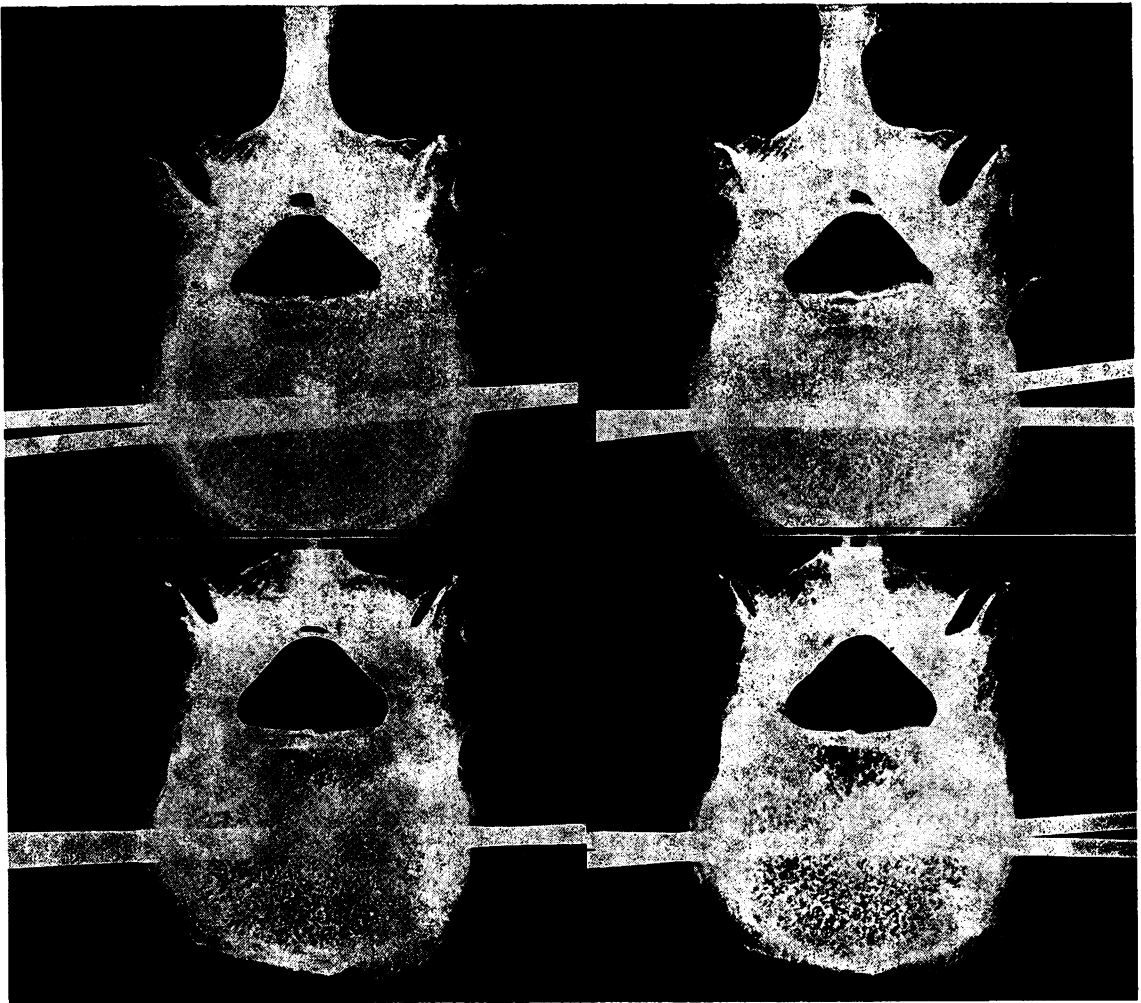
R = Hebelpunkt bzw. Rotationszentrum, K_1 = Summe der auf den Proc. spinosus wirkenden Kräfte, K_2 = Summe der auf die Gelenkfortsätze wirkenden Kräfte, K_3 = Summe der ventral vom Rotationszentrum wirksamen Gegenkräfte, l_1, l_2, l_3 = die zu den Kräften gehörigen Hebelarme.

Abbildung 8 zeigt (im Bild unten) die Rotation aus der Normalhaltung heraus sowie (im Bild oben) die Rotation der auseinandergepreszten Processus spinosi entsprechend einer geringeren Lordosierung. Im zweiten Fall sind die Gelenkspalten tatsächlich wesentlich weiter als bei der Rotation bei nicht gespreizten Processus spinosi, wie sie einer normalen, aufrechten Haltung entsprechen würden.

Aus diesem Experiment könnte man folgern, daß die tatsächlich pro mm² an den Gelenken auftretenden Kräfte bzw. Belastungen umso größer werden müssen, je geringer die Lordosierung wird. Dies deshalb, weil durch die Verschiebung innerhalb der Gelenke die Berührungsflächen kleiner werden.

Die Abhängigkeit der Größe des Rotationsauschlages vom Grad der Lordosierung macht es notwendig, die Wirbelsäule sowie die nach oben und unten anschließenden Gelenke in

einem geschlossenen, funktionellen Zusammenhang zu sehen. Von großer Bedeutung für das Zusammenspiel der Gelenke ist dabei die Ausgangshaltung des Körpers, z. B. aufrechter Stand, bzw. sitzende Haltung. Sie bestimmt einerseits die Länge der auf eine bestimmte Funktion bezogenen wirksamen Gelenkkette, andererseits aufgrund der Festlegung der Ausgangslage den Grad der möglichen Bewegung eines Gelenkes oder eines Bewegungssegmentes. In bezug auf einzelne Möglichkeiten der Körperhaltung geht daraus hervor, daß in verschiedenen Abschnitten der wirksamen Gelenkkette unterschiedliche Bewegungsauslässe in Abhängigkeit von der jeweiligen Stellung des Körpers möglich sind. Funktionell zusammengehörige Anteile können sich dabei im Hinblick auf das Ziel einer bestimmten Bewegung gewissermaßen gegenseitig vertreten.



*Abb. 8: Axiale Röntgenaufnahmen eines isolierten Abschnittes der Lendenwirbelsäule, bestehend aus dem Bewegungssegment und den angrenzenden Wirbelhälften.
 a: Rotation bei etwas gespreizten Proc. spinosi, entsprechend einer gewissen Anteflexion.
 b: Rotation ohne Spreizung der Proc. spinosi, entsprechend der Haltung im aufrechten Stand.*

Auf dem ersten Blick hin ist man immer wieder versucht, besondere morphologische Merkmale einzelner Wirbel — wie etwa die Processus uncinati oder die besondere Ausformung der Gelenkfläche der lumbalen Wirbel — für den Ausdruck einer sehr breit gestreuten Variabilität oder sogar für pathologische Veränderungen zu halten. Daß dies nicht der Fall ist, hoffen wir damit klargestellt zu haben.

Zusammenfassend soll festgehalten werden, daß nur eine umfassende Betrachtung der ge-

samten Wirbelsäule die Funktion dieses axialen Systems verständlich machen kann. So sind die vorgestellten Besonderheiten als Glieder in dieser Kette zu sehen.

Anschrift der Verfasser:

*Univ.-Prof. Dr. Werner Platzer
 Vorstand des Anatomischen Institutes*

*OA Dr. Reinhard Putz,
 Müllerstraße 59, A-6010 Innsbruck*