

Zeitschrift für

Orthopädie

und ihre Grenzgebiete

Herausgeber:

Cotta, Heidelberg

Rössler, Bonn

Schreiber, Zürich

Band 114

1976



Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

Beirat:

Lange, München
Blohmke Bonn
Boenick, Berlin
Brandes, München
Breitenfelder, Kassel
Chiari, Wien
Erlacher, Wien
Exner, Marburg

Francillon, Zürich
Frey, München
Frommhold, Tübingen
Gänshirt, Heidelberg
Hackenbroch, Köln
Hipp, München
Imhäuser, Köln
Katthagen, Volmarstein
Kummer, Köln

Mau, Tübingen
Otte, Mainz
Pitzen, Grünwald
Rettig, Gießen
Schede, Murnau
Schlegel, Essen
Thurner, Salzburg
Witt, München

Universitäts-
Bibliothek
München

Diejenigen Bezeichnungen, die zugleich eingetragene Warenzeichen sind, wurden *nicht* besonders kenntlich gemacht. Es kann also aus der Bezeichnung einer Ware mit dem für diese eingetragenen Warenzeichen nicht geschlossen werden, daß die Bezeichnung ein freier Warename ist. Ebensovienig ist zu entnehmen, ob Patente oder Gebrauchsmuster vorliegen.

© Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1976. Printed in Germany. Druck: Lauk & Co. KG., Buch- und Offsetdruck, 7272 Altensteig. Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. H. Colla, 6900 Heidelberg 1, Orthop. Univ.-Klinik.

Inhalt

Übersicht

Dustmann, H. O., W. Puhl: Altersabhängige Heilungsmöglichkeiten von Knorpelwunden (Tierexperimentelle Untersuchungen) 749

Originalien

Asshoff, H.: Scheingelenkbildung in heterotopen Verknöcherungen 323

Banniza von Bazan, U. K., G. Rompe, A. Krastel, K. Martin: Diastematomyelie – ihre Bedeutung für die Behandlung von Mißbildungsskoliosen 881

Blauth, W., E. Schuchardt: Resektionsarthrodesen in der Behandlung kniegelenksnaher Knochentumoren 931

Brinckmann, P., J. Krenz, J. Polster: Dynamische Halo-Schwerkraft-Extensionsbehandlung für Skoliosepatienten 305

Brinckmann, P., J. Krenz, J. Polster: Messung der Extensionskraft an Skoliosepatienten im Halo-Pelvic Apparat und im Halo-Milwaukee Korsett 889

Cisar, J., W. Schumacher: Ergebnisse der Operation der habituellen Schulterluxation nach Bankhart-Müller 360

Cotta, H., Th. Schewior: Die Spätkomplikationen bei der Kreuzplattenarthrodese aus mechanischer Sicht 147

Decking, D., J. Heine: Röntgenologische Veränderungen der Halswirbelsäule bei Mißbildungen 294

Diehl, K., J. Harms: Über die Aussagekraft tierexperimenteller Ergebnisse mit Hüftendoprothesen 17

Elsasser, U., N. Walker, W. Winkler: Die Stellung des Femurkopfes bei der intertrochanteren Osteotomie 8

Feldkamp, M., F. Abbink, V. GÜth: Elektromyographische Studie des Bewegungsverhaltens bei Säuglingen mit zerebraler Bewegungsstörung 32

Feldkamp, M.: Asymmetrische Hüftfehlstellungen bei Kindern mit infantiler Zerebralparese 317

Gherman, E.: Die Osteopoiikie 945

Hastenteufel, R., B. Schade, G. Sell, J. Pickartz, S. Schrankel: Die biographische Situation skoliootischer Kinder und ihre Beziehungen zur sozialen Umwelt 896

Hattab, A., L. Lauthamus: Die proximale Tibiaosteotomie bei Behandlung der Arthrosis deformans des Kniegelenkes 773

Hirohata, K., H. Kumon, Y. Tanaka: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Schaumzellen bei pigmentierter villonodulärer Synovitis (PVS) 44

Horn, V., J. Franke: Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen bei menschlicher Industrie-fluorose 936

Imhäuser, G.: Die Therapie unerwünschter Operationsfolgen am koxalen Femurende des Kindes 970

Kasper, E., H. Rettig: Der Kniegelenkersatz mit dem achslosen Geomedic-Kniegelenk 219

Kinzl, L., C. Burri, W. Mohr, K. Paulini, D. Wolter: Gewebeerträglichkeit der Polymere Polyäthylen, Polyester und Polyacetylharz 777

Klein, W., F. Huth: Die Gelenkkapsel bei idiopathischer hypertropher Osteoarthropathie 177

Klems, H.: Infrakondyläre Tibiaosteotomie-Stabilisierung mit äußerem Spanner – Indikation, Technik, Komplikationen 26

Koch, W.: Erstbeobachtung einer habituellen doppelseitigen Hüftgelenksluxation 314

Krokowski, E.: Lokalisations- und Verlaufsmuster von altersbedingter Knochenatrophie und pathologischer Osteoporose 785

Lavrinovitsch, T. S., L. I. Petuchova, L. I. Slutskii: Eine vergleichende Untersuchung über Acetylsalicylsäure und indirekte Antikoagulantien zur Prophylaxe venöser Thrombosen bei einem orthopädisch-traumatologischen Krankengut 769

Ohl, E., L. Nicod: Röntgenologische Hinweiszeichen auf schwere Kopfumbaustörungen bei der Behandlung kongenitaler Hüftluxationen 960

Pohl, W., G. Hinz: Reflexdystrophische Pseudoarthritis oder Sudeck-Syndrom 38

Putz, R.: Zur Morphologie und Rotationsmechanik der kleinen Gelenke der Lendenwirbel 902

Refior, H. J., C. J. Wirth: Der plastische Ersatz veralteter Kreuzbandrupturen. I. Material, Methoden und Indikationen 913

Rehmann, I., W. Lenz: Distale Symphalangien mit Humeroradialsynostose, Karpal-Synostosen und Brachyphalangie des Daumens 202

Roenicke, D.: Zur Sekundärschädigung der Wirbelsäule bei Oberschenkelamputierten durch statische Insuffizienz 327

Rössler, H.: Rupturen in der Rotatorenschnepplatte 282

Rütt, A.: Die Patellaluxation, auch ein Symptom einer Grundkrankheit bzw. Folge lokaler primärer Skelettveränderungen 342

Schenck, R. D.: Hemihypertrophie beim Wiedemann-Beckwith-Syndrom (Exomphalos-Makroglossic-Gigantismus-Syndrom) 354

Scherrer, U.: Pfannenfrakturen bei den alten Charnley-Prothesen 949

Schewior, Th., K. Parsch: Langzeitbeobachtung bei der Hüftgelenksarthrodese mit Kreuzplatte und Beckenosteotomie unter besonderer Berücksichtigung der Spätkomplikationen 1

Schulitz, K. P.: Regeneration der Synovialis 161

Sonntag, W., K. Paulini: Untersuchungen zur Pathogenese der Fibromatose der Palmaraponeurose (Morbus Dupuytren) 764

<i>Suermann, B., C. O. Köhler, G. Rompe:</i> Basisdokumentation durch nicht-ärztliches Personal an einer Orthop. Univ.-Klinik	216	<i>Schulitz, K. P.:</i> Morphologische Aspekte des Hüftgelenkes beim Morbus Perthes nach Varisierungsosteotomien	377
<i>Szabó, L.:</i> Möbius-Syndrom und Polandsche Anomalie	211	<i>Strasser, H., W. Lumpp:</i> Die Bedeutung der traumatischen Neurose in der Orthopädie	69
<i>Thurner, J. M. Spinelli:</i> Das sog. braune Alterspigment des permanenten Knorpelgewebes	182	<i>Zsarnaviczky, J., D. Dressler:</i> Gicht, Pseudogicht oder Hyperlipoproteinämie?	243
<i>Vogt, K.-H., W. Krause:</i> Infektrate nach Hüftgelenks-Totalendoprothesen-Operation in einer Orthopädischen Klinik ohne Sterilbox	350	Kurzmitteilungen	
<i>Walker, N., M. Egli, J. Wellauer:</i> Nebenreaktionen nach lumbaler Myelographie mit Dimer-X	793	<i>Adler, H.:</i> Untersuchungen zur Frage der normalen Stabilität im Chopartschen Gelenk	859
<i>Winkelmann, W., W. Becker:</i> Das Chondrom	364	<i>Adler, H.:</i> Die anteriore Instabilität des oberen Sprunggelenkes bei Außenknöchelbandläsionen	987
<i>Wirth, C. J., H. J. Refior:</i> Der plastische Ersatz veralteter Kreuzbandrupturen. II. Spätergebnisse	922	<i>Barz, F.-B., D. v. Torklus:</i> Morbus Perthes, Folge einer Synovitis?	116
<i>Witt, A. N., M. H. Hackenbroch:</i> Therapeutische Möglichkeiten bei gelockerten Hüfttotalprothesen	330	<i>Bengert, O.:</i> Bericht über einen lateralen Schenkelhalsbruch im Kindesalter mit Verlaufsbeobachtung über 32 Jahre	854
<i>Yamaguchi, M., S. Izumida:</i> Pfannendachbildender Effekt verschiedener operativer Eingriffe in der Behandlung der sog. kongenitalen Hüftgelenkluxation	156	<i>Bösch, P., Th. Reisner:</i> Das Querschnittssyndrom bei chondrodystrophischen Zwergen	861
<i>Zippel, H., H. Runge:</i> Pathologische Anatomie und Pathogenese von Spondylodese und Spondylolisthesis im Kindesalter	189	<i>Breitenfelder, J., A. Rütt:</i> Zur Problematik experimenteller Untersuchungen in der Orthopädie mit Rattenversuchstieren	263
Praxis und Fortbildung		<i>Breitenfelder, J., R. Weidner:</i> Die elektrogalvanische Entzündung als Ursache der aseptischen Implantatlockerung bei der Alloarthroplastik des Hüftgelenkes	867
<i>Benz, H.-J., B.-A. Blencke:</i> Restitution einer Lunatumnekrose beim Kind	819	<i>Dederich, R., A. Hild, L. Wolf:</i> Zweijährige Erfahrungen mit 2078 orthopädischen Operationen in einem ultrasterilen Operationsraum	113
<i>Dick, W., H. R. Hende:</i> Die Hallux-valgus-Operation beim jungen Erwachsenen nach McBride	388	<i>Edelmann, P.:</i> Wandernder Neutralwinkel bei Skolioseaufrichtung	260
<i>Gäde, E. A.:</i> Zur operativen Frühbehandlung der Osteochondrosis dissecans des Kniegelenkes	233	<i>Glas, K.:</i> Die Technik des Anlegens einer Lightcast-Hülse am Bein	123
<i>Giamella, F. V., A. H. Huggler:</i> Muskelaktivierte dynamische Bandplastik bei chronischer fibularer Seitenbandinsuffizienz	805	<i>Horn, V., Z. Sauman, P. Messner, D. Dufek:</i> Die Porosität des Knochengewebes bei Menschen verschiedener Altersgruppen	394
<i>Goymann, V., F. Buck:</i> Die operative Behandlung der sog. habituellen Patellarluxation nach Brückner	64	<i>Imhäuser, G.:</i> Ist die Coxa valga im Kindesalter eine behandlungsbedürftige Krankheit?	978
<i>Haring, J.:</i> Erfahrungen mit einem neuartigen Antiphlogistikum/Analgetikum (cumotol®) im orthopädisch-unfallchirurgischen Krankengut	75	<i>Luther, R.:</i> Beziehung zwischen Kalksalzgehalt von Stammskelett und Extremitäten (Fersenbeinmessung)	981
<i>Horváth, F., É. Langyel:</i> Arthrose des 1. Strahles der Hand bei geriatrischem Krankengut	822	<i>Pick, Chr.-F.:</i> Weichteilverkalkungen bei tertiärem Hyperparathyreoidismus	133
<i>Imhäuser, G.:</i> Die spontane-pubertäre Hüftsteife	61	<i>Schuchardt, E.:</i> Zur Ermüdungsfraktur an der Schienbeinkopfschaftgrenze nach Entnahme eines kleinen kortikospongiösen Spanes	125
<i>Kügelgen, H. v.:</i> Ein Beitrag zur Genese des hohl-runden Rückens durch persistierende Bauchatmung (pBA)	247	<i>Thiel, A.:</i> Zuschrift zur Arbeit E. A. Gäde: Zur operativen Frühbehandlung der Osteochondrosis dissecans des Kniegelenkes. Z. Orthop. 114 (1976) 233-240	985
<i>Lüthje, P., P. Rokkanen, J. Rönty, O. Pentti:</i> Faktoren, die die Ergebnisse der Behandlung von Patienten mit Schenkelhalsfrakturen beeinflussen	813	<i>Thomas, G., P. Hofmann:</i> Zur Infektionsprophylaxe bei der Transplantation von tiefgekühlten, allogenen Gelenkteilen	104
<i>Nüsch, R., G. Janssen:</i> Die Stellung der supra-kondylären Korrekturosteotomie in der Behandlung der Altersgonarthrose	226	<i>Ucno, R.:</i> Ergebnisse der intramuskulären Glukosaminoglykanpolysulfat-(GAGPS-)Applikation bei der experimentellen Kniegelenksarthrose des Hundes	108
<i>Pick, Chr.-F.:</i> Zur Lokalisation und Ätiopathogenese der Mortonschen Metatarsalgie	240	<i>Wrede, A.:</i> Haltungsuntersuchungen an Schülern	985
<i>Rösch, H., D. Stock:</i> Morbus Perthes – Ergebnisse der konservativen Therapie	53		

Záhorská, T., J. Valašek, G. Ráčová: Osteitis tuberculosa ossis frontalis 130
Zsernaviczky, J., D. v. Torklus, H. Wilke: Aseptische Hüftkopfnekrose und Fettstoffwechselstörung Typ IIa nach Fredrickson 100

Nutzung zur mehrkanaligen Prothesensteuerung 94
Tönnies, D.: Zum Aspekt der Hüftdysplasie in Klinik und Röntgenologie 98
Zrubicky, G.: Der Ersatz von Arm und Hand – Heute und in Zukunft 252

Beiträge zur Biomechanik

Menshik, A.: Die Synoviapumpe des Kniegelenkes 89
Rizzi, M., B. Covelli: Beitrag zur Bestimmung des inneren Gleichgewichtes der Wirbelsäule (Der Drehpunkt als Momentanpol) 828
Rizzi, M. A., B. Covelli: Biomechanische Aspekte der menschlichen Haltung 833
Roesler, H.: Die biomechanische Berechnung der Belastungen am oberen Sprunggelenk für freie stabile Gliedmaßenstellungen 397
Steger, E., K. Wilhelm, Ch. Windhorst: Materialtechnische Untersuchung zur Frage der Verwendbarkeit von Polymethacrylat für den Ersatz kleiner Gelenke 83

Beitrag zur Dokumentation

Bernau, A. Bilddokumentation in der Orthopädie 844

Beiträge zur Medizingeschichte

Grosch, G.: Die „Orthopädie“ des französischen Arztes Nicolas Andry (1658–1742) 79
Torklus, D v.: Klinik der oberen Halswirbelsäule in ihrer medizinhistorisch osteologischen Dimension 836

Beiträge zur Technischen Orthopädie

Sell, G., G. Schauf, Ch. Gerlach, H. H. Küster: Ableitung und Analysen von Neurosignalen aus dem peripheren Nervensystem mit dem Ziel der

Stellungnahme und Erwidernng

Krokowski, E., M. Fricke: Osteoporose – Folge einer verminderten Knochendurchblutung 430
Münzenberg, K. J.: Ist ein Zusammenhang zwischen verminderter Knochendurchblutung und Osteoporose wahrscheinlich? 428

Personalien

142, 269, 434, 994

Witt, A. N.: Nachruf für Max Lange 145
 Prof. Schede zum Gedächtnis 269
Rössler, H.: Prof. Dr. Dr. h. c. P. Pitzen zum 90. Geburtstag 273
Becker, F. Th.: 75 Jahre Deutsche Gesellschaft für Orthopädische Chirurgie (1901). Deutsche Orthopädische Gesellschaft (1913). Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie (1967) 275
Imhäuser, G.: Erinnerung an Prof. Dr. Dr. h. c. Max Brandes 872
Böhler, J.: Nachruf für Herrn Prof. Dr. W. Ehalt 874
Bechtholdt, W.: Herrn Prof. Dr. G. Hauberg zum 60. Geburtstag am 18. August 1976 875

Standesnachrichten

142, 269, 434, 993

Kongreßkalender

143, 271, 435, 879, 995

Buchbesprechungen

135, 266, 432, 876, 991

Vorträge, Podiumsdiskussionen, Arbeitskreissitzungen und Expertengespräche der 62. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie 1975 in Tübingen. Im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Traumatologie. Hrsg. v. *H. H. Matthiaß*, Münster i.W.

<i>Aalam, M., K. Rossak</i> : Die anbehandelten Wirbelfrakturen unter besonderer Berücksichtigung von Querschnittslähmungen	647	<i>Götze, H. G.</i> : Die Techniken der dorsalen Versteifungsoperation ohne und mit Harrington-Stäben	525
<i>Artmann, M.</i> : Die anbehandelten Verletzungen des Schultergelenkes	654	<i>Götze, H. G.</i> : Korrigierende Osteotomie der in Fehlstellung spondylodesierten Wirbelsäule	589
<i>Bauer, H.</i> : Die frische Infektion nach operativer Frakturenbehandlung	643	<i>Griss, P., G. Jentschura</i> : Operative Maßnahmen bei verspätet zur Behandlung kommenden Beckenfrakturen	650
<i>Baumann, J. U.</i> : Konservative Skoliosenbehandlung bei zerebralen Bewegungsstörungen	496	<i>Groher, W.</i> : Das Problem der unzulänglichen Osteosynthese	639
<i>Bayer, H.</i> : Die Injektionsbehandlung der Skoliose	494	<i>Gronert, H.-J.</i> : Unzureichend reponierte traumatische Epiphysenlösungen	635
<i>Behnecke, U., M. Auffm. Ord.</i> : Der Einsatz der Beschäftigungstherapie bei der konservativen Behandlung der Skoliose	474	<i>Gross, F., G. Arnold</i> : Experimentelle und modelltheoretische Untersuchungen zur Mechanik parallelsträhniger Bindegewebsstrukturen	732
<i>Beyeler, J., J. Peyer, M. von Raven</i> : Komplikationen bei von dorsal versteiften Skoliosen	567	<i>Güth, V., F. Abbink, H. G. Götze, W. Heinrids</i> : Kinesiologische und elektromyographische Untersuchungen über die Wirkung des Milwaukee-Korsetts	480
<i>Biehl, G.</i> : Multizentrische retrospektive Erhebungen an 1681 in den Jahren 1960 bis 1973 operativ von dorsal versteiften Skoliosen – Ergebnisse in Abhängigkeit von der Kyphosestärke	549	<i>Hackenbruch, W., B. Noesberger</i> : Ein Halteapparat zum differenzierten Nachweis der fibularen Bandläsion	699
<i>Breitenfelder, J.</i> : Die korrigierende Wirkung der Wirbelkörper bei der Skoliose durch das Milwaukee-Korsett	489	<i>Hacusermann, U.</i> : Ziele und Grenzen der krankengymnastischen Behandlung der Skoliose – Aspekte aus Lehre und Praxis	455
<i>Breitenfelder, J., B. Huke</i> : Ergebnisse der Versteifungsoperation der Skoliose in Abhängigkeit vom Ausmaß der präoperativen Korrektur und Dauer der postoperativen Fixation	560	<i>Hacusermann, U.</i> : Funktion – ihre Störung und Schulung	678
<i>Brinkmann, K. E.</i> : Die anbehandelten Beckenfrakturen	653	<i>Hansen, Th.</i> : Praktische Bewährung der Methode Schroth	462
<i>Brussatis, F.</i> : Computerauswertung – Ergebnisse in Abhängigkeit von der Ätiologie	554	<i>Harms, J., G. Biehl</i> : Die anbehandelten Frakturen und Luxationen des Ellenbogengelenkes	656
<i>Burkart, P.</i> : Gipstechniken bei Skoliose	502	<i>Harvey jr., J. P.</i> : Probleme der Weiterbehandlung von Verletzten ohne ärztliche Unterlagen	629
<i>Dustmann, H. O.</i> : Begriffsbestimmung und Allgemeines zur Prophylaxe und Therapie der anbehandelten Verletzungen an Knochen und Gelenken	624	<i>Heipertz, W.</i> : Turnen, Schulsportbefreiung und Schulsonderturnen bei Skoliose	470
<i>Edelmann, P.</i> : Gültige Korrekturprinzipien	441	<i>Heipertz, W.</i> : Grundlagen der Krankengymnastik – körperliche Leistungsfähigkeit und Fitness	676
<i>Elies, W., S. Doebel, P. Edelmann</i> : Zur Entstehung von Kyphosen und Skoliosen nach Laminektomien bei Kindern und Jugendlichen	704	<i>Heipertz, W.</i> : Körperliche Leistungsfähigkeit und Fitness	692
<i>Eulert, J., H. Bitterauf</i> : Untersuchungen zur Transplantation von Wachstumsknorpel	709	<i>Hengst, Chr.</i> : Sport als Mittel der Therapie und Rehabilitation – insbesondere Reittherapie	690
<i>Finkbeiner, G. F., W. Hort</i> : Therapie der anbehandelten Unterarmfrakturen	666	<i>Hohmann, D.</i> : Ergebnisse der multizentrischen Erhebungen von dorsal versteiften Skoliosen in Abhängigkeit vom Schweregrad	548
<i>Fischer, V., K. Matzen, H. Bruns</i> : Arthroseauslösende Faktoren der Meniskektomie	735	<i>Horst, M., G. Dahmen</i> : Erweiterung der Rippenbuckelresektion durch Doppelosteotomie	596
<i>Frhr. von Andrian-Werburg, H.</i> : Das postoperative Krümmungsverhalten unter- und oberhalb der Harrington-Spondylodesenregion	575	<i>Horst, M.</i> : Die operative Behandlung der Erwachsenen skoliose	605
<i>Gekeler, J.</i> : Intertrochantere oder zervikale Korrektur der schweren Hüftkopfeiphysendisllokation?	693	<i>Hüter, A.</i> : Krankengymnastik und ihre Behandlungsziele	686
<i>Gördes, W.</i> : Messungen zur Bestimmung der Spongiosierung unter Einfluß der Plattenosteosynthese	729	<i>Imhäuser, G., E. Morscher</i> : Vorteile und Nachteile von versteifenden Skoliosoperationen	613
<i>Götze, H. G.</i> : Die Form des postoperativen Rumpfgipses – Voraussetzung für die Frühmobilisation nach hinterer Spondylodese	506	<i>Itami, Y., N. Akamatsu, Y. Tomita</i> : Preliminary Report of Our Total Hip Prosthesis	719
		<i>Jani, L.</i> : Zusammenfassende Indikation und Wertung der Korrektur- und Fixationsmaßnahmen	519

<i>Jani, L., E. Morscher:</i> Die postoperative Entwicklung der Sekundärkrümmung einer Skoliose bei alleiniger Spondylodese der Primärkrümmung	573	<i>Pellin, B., K. Zielke, J. Beaujean:</i> Gipslose Extensionsmethoden zur Korrektur und präoperativen Behandlung der Skoliosen	510
<i>Janssen, G.:</i> Zur operativen Behandlung der Erwachsenen skoliose	606	<i>Pellin, B., K. Zielke:</i> Erfahrungen mit der Querstabilisation nach Cotrel beim Harrington-System	530
<i>Jentschura, G.:</i> Ergebnisse der Skoliosoperationen in Abhängigkeit von der Lokalisation der Hauptkrümmung	552	<i>Pflüger, G., F. Machacek:</i> Vorbereitete Diskussion zum Vortrag „Korrekturergebnisse der Milwaukee-Korsett-Behandlung“	491
<i>Kaminski, G.:</i> Psychische Auswirkungen operativer Korrektur der Skoliose	618	<i>Polster, J.:</i> Neuere Erkenntnisse zur Skoliosekorrektur	447
<i>Kaufmann, L.:</i> Vergleichende Untersuchungen zur konservativen Behandlung von symmetrischen Beinachsendiformitäten beim Kleinkind	696	<i>Polster, J., J. Krenz, P. Brinckmann:</i> Praktische Erfahrungen und Kraftmessungen bei der Halopelvic-Distraktion	515
<i>Klems, H.:</i> Nachresorption oder Osteosynthese bei Sekundärverschiebungen von Unterarmschaftfrakturen	663	<i>Rathke, F. W., W. K. Erban:</i> Passive präoperative Korrekturmaßnahmen bei Skoliosen	522
<i>König, G.:</i> Probleme der anbehandelten infizierten Fraktur	644	<i>Reichelt, A., G. Rompe:</i> Ungeklärte Fragen	565
<i>Krämer, J.:</i> Grundlagen zur funktionellen Behandlung der idiopathischen Skoliose	452	<i>Renné, J., E. Bäuerle:</i> Therapeutische Möglichkeiten nach ungenügend behandelten Monteggia-Verletzungen	659
<i>Leitz, G.:</i> Psychologische und forensische Gesichtspunkte bei anbehandelten Frakturen	627	<i>Riedl, K., A. Rütt, F. Kohout:</i> Erste Erfahrungen mit der sog. Ultraschallosteosynthese	727
<i>Marquardt, E.:</i> Plastische Operationen bei drohender Knochendurchspießung am kindlichen Oberarmstumpf	711	<i>Rompe, G.:</i> Multizentrische retrospektive Erhebungen an 1681 in den Jahren 1960 bis 1973 operativ von dorsal versteiften Skoliosen	538
<i>Marquardt, E.:</i> Pkw für Armlose	716	<i>Rompe, G.:</i> Konsequenzen der Gemeinschaftsstudie für prospektive Erhebungen	580
<i>Matthias, H. H., J. Polster:</i> Die Kombination ventraler und dorsaler Eingriffe zur Behandlung schwerer Skoliosen	611	<i>Salzmann, G.:</i> Die konservative Behandlung der Skoliose mit dem Stagnara-Korsett	492
<i>Matzen, K. A., V. Fischer:</i> Ergebnisse in Abhängigkeit von Operationstechnik mit und ohne Harrington-Instrumentarium	558	<i>Samek, L.:</i> Körperliche Leistungsfähigkeit und Fitness	688
<i>Mau, H.:</i> Präsidentenrede	437	<i>Schauwecker, F., S. Weller, Th. Eck:</i> Die frische anbehandelte Knöchelfraktur	674
<i>Mau, H.:</i> Zusammenfassung des Skoliosethemas	623	<i>Scheier, H. J. G.:</i> Die Indikation zur operativen Behandlung der Skoliose	577
<i>Meznik, F., H. G. Götz, J. Heine, H. R. Hendche, P. Hilpert, H. W. Klempt, H. Stoboy:</i> Kardio-pulmonale Aspekte beim unbehandelten und operierten Skoliosepatienten	582	<i>Schlegel, K. F.:</i> Die Skoliosebehandlung nach Schroth	461
<i>Meznik, F.:</i> Vorbereitete Diskussion	604	<i>Schmitt, E.:</i> Indikation und Technik der Reoperation nach dorsaler Spondylodese	587
<i>Morscher, E.:</i> Korrigierende Osteotomie der in Fehlstellung spondylodesierten Wirbelsäule	593	<i>Schöllner, D.:</i> Erfahrungen mit der Rippenbuckelresektion	594
<i>Morscher, E., L. Jani:</i> Ventrale Eingriffe an den Wirbelkörpern bei Skoliosen	607	<i>Schonert, H. J., H. O. Dustmann:</i> Die anbehandelte Radiusbasisfraktur	669
<i>Mueller, K.:</i> Das Milwaukee-Korsett und seine Indikationen	476	<i>Schreiber, A., N. Walker, M. Nishikawa, M. G. Yaşagil:</i> Mikrovaskuläre Untersuchungen am Kniegelenk	706
<i>Münzenberg, K. J., G. Flajs, R. Demert:</i> Zur Bindung von Methylmethacrylat an Knochen	722	<i>Schumacher, G.:</i> Altersabhängige Probleme bei der Versorgung anbehandelter Frakturen	632
<i>Muthmann, D.:</i> Zur beruflichen Situation des Skoliotikers	621	<i>Sebbel, J., J. Heine, J. Krenz:</i> Beschäftigungstherapeutische Ziele der konservativen und operativen Behandlung der Skoliose	471
<i>Muzzolini, B.:</i> Knochenbruchversorgung bei flächenhaften Hautschäden	641	<i>Seroo, J. M., C. J. Snijders, J. G. N. Snijder, H. J. Hahn:</i> Der Stabilograph als Hilfsmittel für die konservative Skoliosebehandlung bei asymmetrischem Beckenstand	444
<i>Neff, G., A. Emmerich:</i> Neue Gesichtspunkte in der operativen Stumpfgestaltung und in der Prothesenversorgung von Oberarmamputierten	714	<i>Siguda, P.:</i> Krankengymnastik im Milwaukee-Korsett	464
<i>Neugebauer, H.:</i> Die Mieder-Hormon-Therapie bei idiopathischen Skoliosen	483	<i>Snijder, J. G. N., H. J. Hahn, J. M. Seroo, C. J. Snijders:</i> Keilresektion aus dem Kreuzbein mit lumbosakraler dorsaler Versteifung nach Harrington bei primären Lumbalskoliosen	584
<i>Noack, W., W. Münch:</i> Veränderungen der Vasomotorik unter mechanischer Beanspruchung (sinusförmige Schwingungen)	738		
<i>Nöh, E.:</i> Befragungsergebnisse zur psychischen Situation der Mädchen im Milwaukee-Korsett	616		

<i>Steinhaus, M.</i> : Präoperative Korrekturmaßnahmen mit Hilfe des Extensionsquengelgipses nach Stagnara	504	<i>Wittenhorst, W., E. Nöh, W. Dreier</i> : Behandlungsergebnisse mit dem Milwaukee-Korsett	484
<i>Steinhaus, M.</i> : Operative Versteifung – Ergebnisse in Abhängigkeit von der Anzahl der versteiften Segmente	557	<i>Zapfe, E.</i> : Multizentrisch retrospektive Erhebungen an 1681 in den Jahren 1960 bis 1973 operativ von dorsal versteiften Skoliosen – Ergebnisse in Abhängigkeit vom Lebensalter	546
<i>Stoboy, H.</i> : Regelung der Bewegung	683	<i>Zielke, A. M.</i> : Präoperative Mobilisationsgymnastik, Extensionsmethoden und unmittelbare postoperative Krankengymnastik bei stabilisierenden Wirbelsäulenoperationen	467
<i>Thom, H.</i> : Operative Therapie von Skoliosen bei zerebralen Bewegungsstörungen	499	<i>Zielke, K., B. Pellin</i> : Neue Instrumente und Implantate zur Ergänzung des Harrington-Systems	534
<i>Thomas, G.</i> : Gelenkteil- und Volltransplantation zur Rekonstruktion von Knie- und Hüfterkrankungen	724	<i>Zielke, K., B. Pellin</i> : Die operative Behandlung der Erwachsenenskoliose	598
<i>Ulrich, H.</i> : Ermüdungsbrüche am Harrington-Stab mit und ohne Biegung bei der Implantation	528	<i>Zollinger, H., R. Razawi, P. E. Odisner, C. Dietschi</i> : Häufig unerkannte Begleitverletzungen bei Distorsio pedis	671
<i>Walker, N., A. Naghachan</i> : Wirbelgleiten nach Diskushernienoperation	702		
<i>Weigert, M.</i> : Frührekonstruktion von anbehandelten Sprunggelenksverletzungen	673		

Zur Morphologie und Rotationsmechanik der kleinen Gelenke der Lendenwirbel

R. Putz

Anatomisches Institut der Univ. Innsbruck (Vorstand: Prof. Dr. W. Platzer)

Z. Orthop. 114 (1976) 902-912
© F. Enke Verlag, Stuttgart

Zusammenfassung: Unter Verwendung mazerierter und nicht mazerierter Lendenwirbel bzw. ganzer Lendenwirbelsäulen sowie unter der Benützung von Röntgenaufnahmen wird versucht, zur Kenntnis der Mechanik der kleinen Gelenke des lumbalen Abschnittes der Wirbelsäule von der Gestalt der Gelenkflächen her einen Beitrag zu leisten. Die Gelenkflächen der Lendenwirbelsäule sind abweichend von der üblichen Darstellung vorwiegend abgewinkelte Flächen. Rechte und linke Gelenkfläche eines Bewegungssegmentes liegen nicht auf einer gemeinsamen geometrischen Fläche, d. h., es findet sich auch nicht annähernd ein für rechts und links gemeinsamer Krümmungsmittelpunkt. Daraus ergeben sich Folgerungen für die Rolle, welche die kleinen Gelenke der Lendenwirbelsäule bei den verschiedenen Bewegungsbeanspruchungen – vornehmlich der Rotation – spielen. An isolierten Präparaten einzelner Bewegungssegmente wird das Verhalten der kleinen Gelenke bei Rotationsstellungen röntgenologisch dargestellt.

Einleitung

Die Literatur über die Mechanik der Wirbelsäule ist kaum überschaubar geworden. Abgesehen von älteren anatomischen Studien, unter denen vor allem jene von *Rudolf Fick* (1911) zu nennen sind, erschienen in den letzten Jahren vor allem solche Arbeiten, die röntgenologische Methoden benützen, um die normale Funktion der Wirbelsäule darzustellen.

Die Funktion unseres Achsenorgans erscheint auf den ersten Blick im großen und ganzen geklärt, dennoch besteht, was unsere Kenntnis der Teilfunktion einzelner Abschnitte betrifft, nach wie vor eine Reihe von Problemen, wie der zur Verfügung stehenden Literatur zu entnehmen ist.

In der vorliegenden Arbeit beschränken wir uns auf die Lendenwirbelsäule. Nach einer eingehenden morphologischen Darstellung der Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke wollen wir den Versuch unternehmen, ihre Rolle im Rahmen der Drehbeanspruchung dieses Wirbelsäulenabschnittes darzustellen, wobei vor allem die dabei wirksame Mechanik untersucht werden soll.

Morphology and mechanics of rotation of the small joint in the lumbar vertebra

Using macerated and nonmacerated lumbar vertebrae and/or whole lumbar vertebral columns as well as x-rays, the attempt was made to contribute to the knowledge of the mechanics of the small joint in the lumbar section of the spinal column on the basis of the shape of the joint surfaces. The joint surfaces of the lumbar vertebral column deviate from the usual demonstration of primarily angular surfaces. Right and left joint surfaces of a locomotor segment do not lie on the same geometrical plane, i. e., there is nothing like a common right and left curvature center. As a result, conclusions can be drawn in regard to the role played by the small joint of the lumbar vertebral column under the various types of strain during movement, particularly during rotation. The relation of the small joint in rotation positions was demonstrated radiographically in isolated preparations of individual locomotor segments.

Literatur

Bei der Prüfung des Schrifttums über die Beweglichkeit der gesamten Wirbelsäule findet man seit *Aeby* (1871) ein immer wieder modifiziertes Schema über die Form der Gelenkflächen der kleinen Gelenke und ihr Verhältnis zu theoretisch möglichen Rotationsachsen (Abb. 1).

Während *Aeby* (1871) und auch *Gegenbaur* (1883) besonders darauf hinweisen, daß die Krümmungsmittelpunkte der oberen Gelenkflächen ein und desselben Lendenwirbels nicht zusammenfallen – *Strasser* (1908) bildet zumindest ein derartiges Schema ab –, wird in der übrigen uns zur Verfügung stehenden Literatur im allgemeinen ein für beide Gelenkflächen gemeinsamer Krümmungsmittelpunkt angenommen. Die Rotationsbelastungen, die im Bereich der Bewegungssegmente (*Junghanns* 1950) der Lendenwirbelsäule zweifelsohne auftreten, werden im allgemeinen nach dieser schematischen Voraussetzung untersucht und beschrieben (*Güntz* 1958, *Gregersen* u. *Lucas* 1967, *Morris* 1973 u. a. m.).

Abgesehen von den Darstellungen, die in Beziehung zu dem oben zitierten Schema gebracht werden können, gibt es eine Reihe von Arbeiten, welche auf die Form der Gelenkfortsätze der Lendenwirbel nur allgemein eingehen. Die Form der *Processus articulares superiores* wird dabei durchwegs als zylindrisch oder einfach konkav beschrieben (*Braus* 1956, *Sieglbauer* 1958, *Tön-*

Tabelle 1 Processus articulares superiores.

zylindrische Gelenkflächen		abgewinkelte Gelenkflächen	
Anzahl	Werte	Anzahl	Werte
16 (3)	6 mm	1	90°
11 (2)	7 mm	1	95°
14 (4)	8 mm	2	100°
7 (2)	9 mm		105°
14 (4)	10 mm	3	110°
17 (7)	12,5 mm	7	115°
15 (9)	15 mm	2	120°
10 (9)	20 mm	4	125°
3 (2)	30 mm	3	130°
		10	135°
		2	140°
		3	145°
		1	150°
		1	155°
		1	160°
		1	165°
		1	170°
		1	175°
107 (42)	$\bar{x} = 11.1$ mm	43	$\bar{x} = 128.8^\circ$
gekrümmte Gelenkflächen		107	(68,6%)
davon nicht rein zylindrisch gekrümmt		42	(26,9%)
abgewinkelte Gelenkflächen		43	(27,6%)
nicht meßbare Gelenkflächen		6	(3,8%)
insgesamt		156	(100,0%)

duroy 1968, Gardner u. Mitarb. 1969, Gray's Anatomy 1973, Krämer 1973).

Interessanterweise gibt es aber eine Reihe von zeichnerischen Darstellungen, die die Verhältnisse abweichend von den bisher genannten Beschreibungen zur Abbildung bringen (Pernkopf 1964, Waldeyer 1967 u. a. m.). Dabei wird allerdings im Text auf die jeweilige Zeichnung kaum eingegangen, und den Gelenken werden teilweise zylindrische, manchmal sogar sagittale Flächen zugeschrieben.

Zur Beschreibung der Beweglichkeit der Wirbelsäule wird einerseits von der Form und daraus folgend von der Funktion des einzelnen Gelenkes ausgegangen. Andererseits wird der Bewegungsumfang der gesamten Wirbelsäule oder größerer Teilabschnitte direkt gemessen. Dabei bleibt die Form der beteiligten Knochenverbindungen weitgehend außer acht. Als grundlegende Darstellung ist dazu das Werk von R. Fick (1911) zu nennen, es gibt aber auch neuere Untersuchungen (Bakke 1931, Stofft u. Grosam 1975 u. a. m.).

Fig 57.

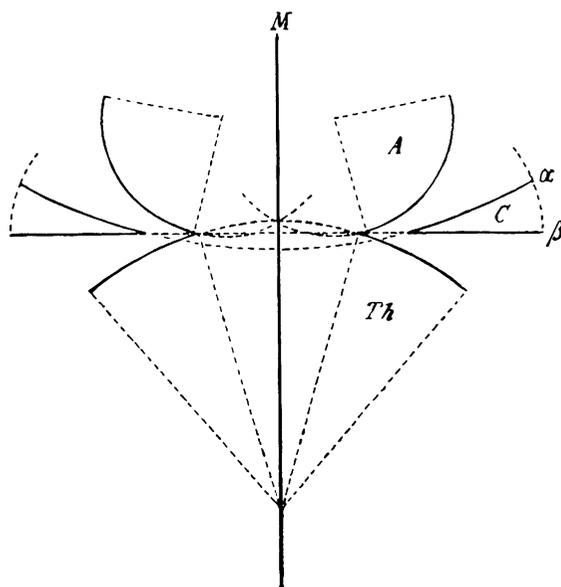


Abb. 1 Querschnitt der Gelenkflächen der Wirbelbögen. A = Bauchwirbel, C = Halswirbel, α = dritter, β = sechster. Th = Brustwirbel, M = Medianebene. (Schema aus Aeby 1871.)

Die Mehrzahl dieser Untersuchungen konzentriert sich auf die Beweglichkeit der Wirbelsäule in der Sagittal- und in der Frontalebene, während auf die Drehbewegung – vor allem innerhalb der Lendenwirbelsäule – wesentlich seltener eingegangen wird. Die Gründe dafür liegen sicherlich in erster Linie darin, daß man aufgrund der Einstellung der Gelenkflächen dieses Wirbelsäulenabschnittes geneigt ist, Rotationsmöglichkeiten von vornherein auszuschließen bzw. für unbedeutend gering zu halten. Zudem verlaufen die tiefen Rückenmuskeln in diesem Bereich, auch die ihrer Entwicklung nach als Rotatoren angelegten Anteile des M. multifidus, fast parallel zur Lendenwirbelsäule, so daß die aktive Drehmöglichkeit innerhalb der lumbalen Bewegungssegmente weitgehend unberücksichtigt bleibt.

Allerdings wird die passive Übertragung von Rotationskräften sicherlich unterschätzt. Gerade die Bauchmuskeln, aber auch die oberflächlichen Rückenmuskeln wirken über ihre Angriffspunkte am Thorax und am Becken- bzw. Schultergürtel mit zum Teil sehr langen Hebelarmen. Dementsprechend groß muß auch ihre Wirkung auf angrenzende Abschnitte der Wirbelsäule sein. Die dabei wirksame Mechanik wurde unseres Erachtens bisher zu wenig beachtet.

Ein weiteres Problem ergibt sich daraus, daß die Direktmessung der Drehstellung von Wirbeln nicht einfach ist. Sieht man von der Messung über perkutan eingebrachte Metallstäbe ab (Gregersen u. Lucas 1967), so ist am ehesten die Verwendung röntgenologischer

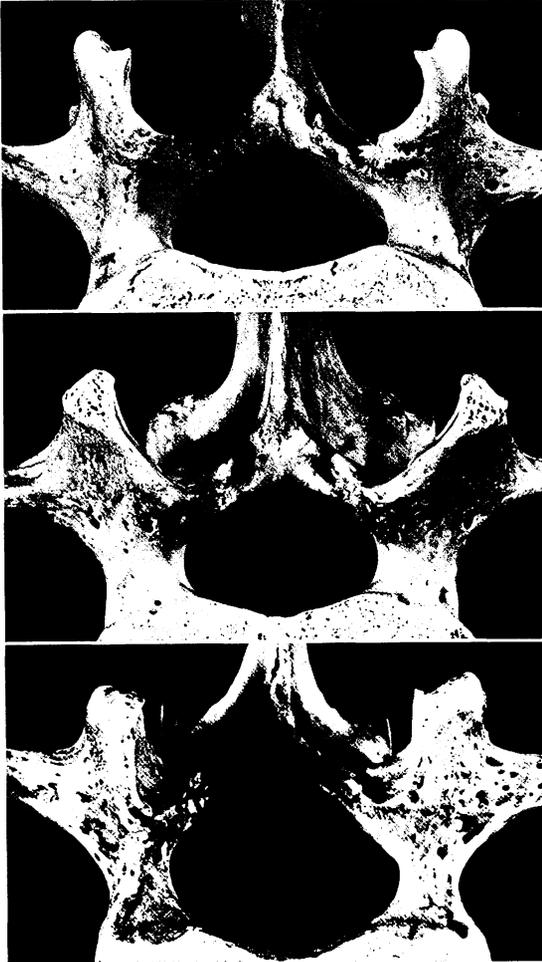


Abb. 2 a-c Form der Gelenkflächen der Proc. articulares superiores dreier Lendenwirbel in der Ansicht von oben.

- a) Zylindrische Form.
- b) Die Gelenkflächen sind von einem Zentrum ausgehend nach ventral und dorsal aufgebogen.
- c) Abgewinkelte Form der Gelenkflächen.

Methoden möglich, mit deren Hilfe man die einzelnen Bewegungsauslässe zwar auch nicht direkt bestimmen, aber doch einigermaßen sicher berechnen kann.

Material und Methode

Für unsere Untersuchungen verwendeten wir 78 isolierte Lendenwirbel, 28 mazerierte sowie 20 nicht-mazerierte komplette Wirbelsäulen. An 3 Versuchspersonen wurden unsere Befunde mit Hilfe von Röntgenaufnahmen kontrolliert.

Bei den nichtmazerierten Wirbelsäulen war der Zusammenhang durch Bänder und Bandscheiben noch vollständig gegeben. Die einzelnen Wirbel stammen aus der Sammlung des Anat. Institutes und aus dem



Abb. 3 Beispiel einer auch in der Frontalebene gekrümmten oberen Gelenkfläche eines Lendenwirbels („grubige Vertiefung“), Ansicht von schräg hinten.

Studienmaterial des Lehrbetriebes. Das Durchschnittsalter dieser Präparate konnte naturgemäß nicht mehr festgestellt werden, doch wurden pathologisch veränderte Wirbel ausgeschieden. Das durchschnittlich erreichte Lebensalter der Menschen, von denen die 48 kompletten Wirbelsäulen stammen, konnte mit annähernd 60 Jahren ermittelt werden.

An den einzelnen Wirbeln versuchten wir die Form der Gelenkflächen durch einfache Zahlen (Winkelgrade bzw. Krümmungsradien) auszudrücken. Wegen der beengten räumlichen Verhältnisse an den Fortsätzen der Wirbel verwendeten wir zur Objektivierung und leichteren Bearbeitung eine plastische Abdruckmasse.

An den kompletten Wirbelsäulen wurde vor allem die Stellung der Fortsätze zueinander untersucht sowie an Querschnitten der Verlauf der Gelenkspalten dargestellt. Eine kleinere Zahl von nichtmazerierten kompletten Wirbelsäulen wurde so zersägt, daß die einzelnen Bewegungssegmente (i. S. von *Junghans* 1950) isoliert erhalten blieben. Die jeweils angrenzenden Wirbelteile wurden dabei mit Drähten transversal durchbohrt, so daß Bewegungsauslässe in verschiedenen Richtungen leicht kontrolliert werden konnten.

Zur Sicherung unserer Untersuchungen fertigten wir schließlich bei einer begrenzten Zahl von Versuchspersonen Röntgenaufnahmen des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes an. Es ergab sich dabei die Notwendigkeit, die Rotation einzelner Wirbel auszumessen, und wir benutzten dazu die Methode von *Lukas* (1958), die wir insofern etwas modifiziert haben, als wir als Meßpunkt die Mittellinie des jeweiligen Proc. spinosus verwendet haben. (In Anbetracht der kleinen Meßgrößen mußten wir uns zu deren Bestimmung an möglichst scharf abgebildete Details des Röntgenbildes halten. Wir sind uns darüber im klaren, daß die Ausrichtung der Processus spinosi häufig von der Mediansagittalen abweicht, doch spielt dieser Umstand bei unseren Untersuchungen deshalb keine Rolle, da

wir nur die relative Projektionsänderung beim jeweils maximalen Rotationsausschlag gemessen haben!)

Ergebnisse

1. Die Form der Gelenkkörper

Diese Untersuchungen führten wir an mazerierten Wirbeln durch, nachdem wir uns überzeugt hatten, daß im Bereich der Lendenwirbelsäule die Form der überknorpelten Gelenkflächen im Gegensatz zu anderen Abschnitten der Wirbelsäule (*Putz* u. *Pomaroli* 1972) im großen und ganzen mit der Ausbildung der mazerierten Flächen übereinstimmt. Die Knorpelaufgabe ist nach den Untersuchungen von *Reichmann* (1971), welche auch wir bestätigen konnten, im zentralen Bereich zwar etwas dicker als an den Rändern, doch wird die Grundform der knöchernen Gelenkfläche dadurch nicht wesentlich verändert.

Im Zuge der Untersuchung der kompletten Wirbelsäulen wurde sehr bald klar, daß die Form der Gelenkflächen zur Reihenfolge der einzelnen Wirbel innerhalb des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes nicht in Beziehung steht. Die Änderung der Stellung der Gelenkflächen zueinander, ihre Orientierung, wurde deshalb nicht berücksichtigt. Außerdem fanden wir kaum Wirbel, deren rechte und linke Gelenkflächen sowohl in Form als auch in Orientierung übereinstimmten. Aus diesen Gründen beschränkten wir unsere morphologischen Untersuchungen auf die Form der einzelnen Gelenkflächen isolierter Lendenwirbel (s. auch *Putz* 1976).

Processus articulares superiores: Aufgrund der Ausbildung der Gelenkflächen konnten wir die oberen Gelenkfortsätze in zwei Hauptgruppen unterteilen. Einerseits gibt es, den Angaben der Literatur entsprechend, tatsächlich Gelenkfortsätze, die in der transversalen Ebene eine kreisförmige Krümmung aufweisen, so daß die ganze Gelenkfläche dem Ausschnitt eines Hohlzylinders entspricht (Abb. 2 a). Tab. 1 gibt eine Übersicht über die verschiedenen gemessenen Werte der Krümmungsradien. Demgegenüber gibt es eine sehr große Gruppe von Gelenkflächen, die sich nur annähernd zylindrisch verhalten. Wir fanden eine Reihe von Formen, deren Krümmungen, von einem relativ flachen Zentrum ausgehend, sowohl nach ventral als auch nach dorsal stärker werden. Bei anderen Gelenkflächen nimmt der Krümmungsradius in der Transversalebene nur in der Rich-

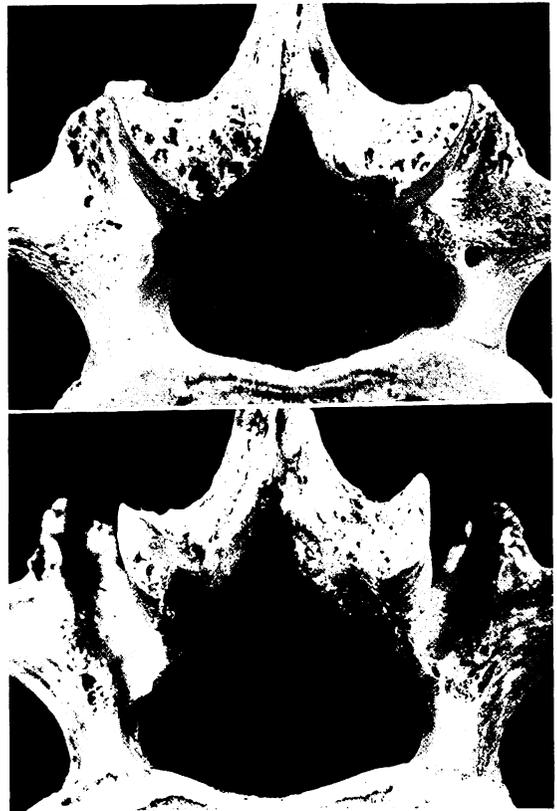


Abb. 4 a u. b Form der Gelenkflächen der Proc. articulares inferiores zweier Lendenwirbel in der Ansicht von unten.

- a) Zylindrische Form.
b) Abgewinkelte Form.

tung von vorne nach hinten zu. Bei diesen Formen – in der Tabelle wurden die entsprechenden Zahlen in Klammer gesetzt –, konnten nur annähernde Werte bestimmt werden (Abb. 2 b).

Die dritte Gruppe von Gelenkflächen bot wieder ein einheitlicheres Bild. Es stellte sich heraus, daß die Gelenkflächen bei diesen Präparaten aus zwei zueinander in einem bestimmten Winkel stehenden Anteilen bestehen. Wenn auch die Zahlenangaben auf höchstens 5° genau angegeben werden können (Tab. 1), so ist eine Abwinkelung der beiden Anteile doch deutlich festzustellen (Abb. 2 c).

Unabhängig von der Zuordnung zu einer der genannten Gruppen weisen sehr viele Gelenkflächen in axialer Richtung eine zusätzliche flache Konkavität auf (Abb. 3). Diese „grubige“ Vertiefung wird auch durch den Gelenkknorpel nicht ausgeglichen.



Abb. 5 Ansicht der Proc. articulares inferiores eines Lendenwirbels von unten; die Gelenkflächen sind in ihrem mittleren Abschnitt zylindrisch gekrümmt, gegen die Spitze hin laufen sie in einem First aus.

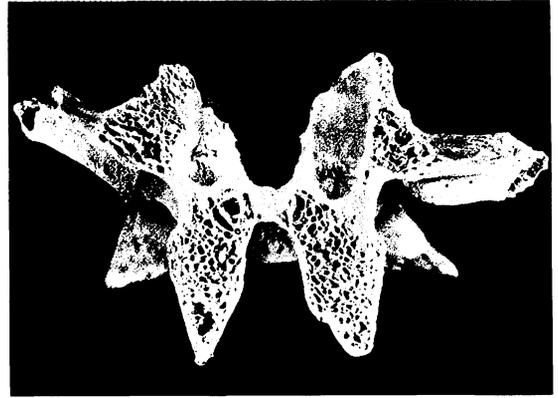


Abb. 6 Frontalschnitt durch die Proc. articulares eines Lendenwirbels; die dorsalen Abschnitte der Gelenkflächen der Proc. articulares inferiores konvergieren nach unten.

Tabelle 2 Processus articulares inferiores.

zylindrische Gelenkflächen		abgewinkelte Gelenkflächen	
Anzahl	Werte	Anzahl	Werte
2	6 mm	2	190°
1	7 mm	2	195°
1	8 mm	5	200°
1	9 mm	5	205°
2 (1)	10 mm	8	210°
7 (2)	12,5 mm	7	215°
4 (1)	15 mm	8	220°
9 (3)	20 mm	11	225°
5 (2)	30 mm	8	230°
3 (2)	40 mm	4	235°
1 (1)	50 mm	1	240°
2 (2)	60 mm		
38 (14)	$\bar{x} = 21,6$ mm	61	$\bar{x} = 227,5^\circ$
gekrümmte Gelenkflächen		38 (26,2%)	
davon nicht rein zylindrisch gekrümmt		14 (9,6%)	
abgewinkelt		61 (42,1%)	
plan		31 (21,4%)	
nicht meßbar		15 (10,3%)	
insgesamt		145 (100,0%)	

Processus articulares inferiores: Die unteren Gelenkfortsätze der Lendenwirbel entsprechen in ihrer Form im allgemeinen jener der oberen. In ähnlicher Weise finden wir Gelenkflächen, die in der Transversalebene kreisförmig gekrümmt sind

Tabelle 3 Abstände der angenäherten Krümmungsmittelpunkte.

Processus articulares superiores		Processus articulares inferiores	
Anzahl	Werte	Anzahl	Werte
1	-30 mm	3	-30 mm
0	20 mm	1	20 mm
2	15 mm	2	15 mm
2	10 mm	2	10 mm
0	8 mm	1	8 mm
2	6 mm	2	6 mm
0	4 mm	1	4 mm
3	2 mm	3	2 mm
1	0 mm	2	0 mm
3	+2 mm	1	+2 mm
1	4 mm	0	4 mm
2	6 mm	2	6 mm
3	8 mm	5	8 mm
18	10 mm	5	10 mm
16	15 mm	8	15 mm
15	20 mm	4	20 mm
2	30 mm	1	30 mm
0	40 mm	0	40 mm
71 Wirbel		43 Wirbel	

und Flächen, die abgewinkelt bzw. gekrümmt erscheinen (Tab. 2, Abb. 4). Auffallend ist allerdings die große Anzahl von Gelenkflächen, die sowohl Merkmale der einen als auch der anderen Gruppe enthalten. Eine Gelenkfläche dieser Art ist in

Abb. 7 a–f
Röntgenaufnahmen der Lendenwirbelsäule eines 33jährigen Mannes in verschiedenen Haltungen und Rotationsstellungen.

- a) Aufrechter Stand nach rechts rotiert.
- b) Aufrechter Stand nach links rotiert.
- c) Seitliche Röntgenaufnahme zur Darstellung des Grades der Lordose im aufrechten Stand.

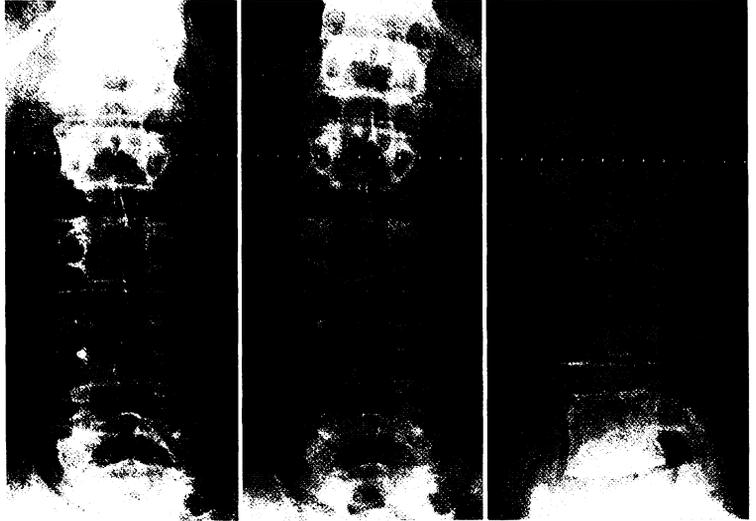


Abb. 7 a

Abb. 7 b

Abb. 7 c

- d) Sitzende Haltung nach rechts rotiert.
- e) Sitzende Haltung nach links rotiert.
- f) Seitliche Röntgenaufnahme zur Darstellung des Grades der Lordose in sitzender Haltung.

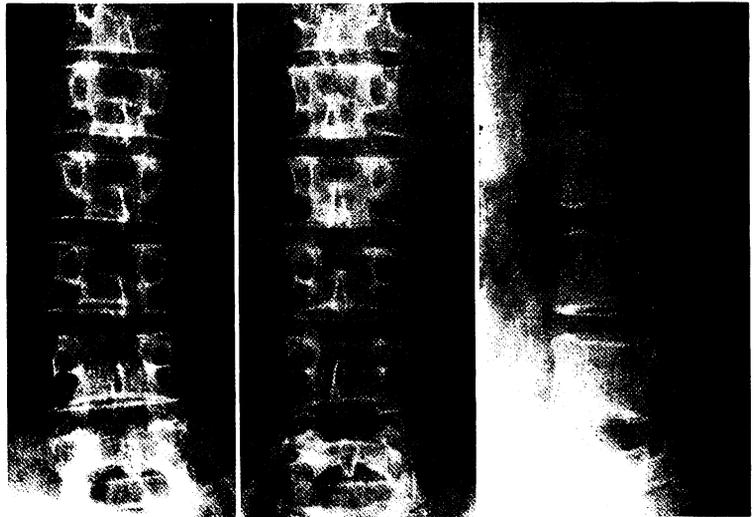


Abb. 7 d

Abb. 7 e

Abb. 7 f

ihrem mittleren Abschnitt im Querschnitt durchwegs kreisförmig gekrümmt, während sie gegen das kaudale Ende des Fortsatzes abgewinkelt ausläuft. Sehr häufig findet man im Bereich der Spitzen einen First (Abb. 5), der zwei Facetten voneinander trennt.

Besonders genau prüften wir die Frage, ob rechte und linke Gelenkfläche wenigstens ungefähr einen gemeinsamen Krümmungsmittelpunkt aufweisen. Die Auswertung unserer Meßergebnisse, die in Tab. 3 zusammengestellt sind, ergab, daß die Abstände der angenäherten Krümmungsmittelpunkte

der rechten und linken Fläche zwischen 6 und 20 mm differieren. Eine für rechtes und linkes Gelenk gemeinsame Rotationsachse kann demnach nicht vorhanden sein.

An den Processus articulares inferiores untersuchen wir des weiteren die Einstellung des größeren Anteils der Gelenkflächen zu den Körperebenen. Wir konnten dabei beobachten, daß der Hauptanteil der Gelenkflächen entgegen den Angaben der Literatur nur sehr selten streng in der Sagittalebene ausgerichtet ist. Vielmehr schließen rechte und linke Fläche einen nach dorsal offenen Winkel



Abb. 8 Horizontaler Schnitt durch 2 lumbale Wirbelgelenke, zur Darstellung sowohl der Abwinkelung der jeweiligen Gelenkspalten als auch der Asymmetrie.

Tabelle 4

Versuchs- person	Rotation L ₁ -L ₅ nach rechts	Rotation L ₁ -L ₅ nach links	Gesamt- rotation rechts links	
1. 20 Jahre	+1,5° +3,5°	-2,0° -3,5°	3,5° 7,0°	Stehen Sitzen
2. 30 Jahre	+2,0° +3,5°	-1,0° -1,0°	3,0° 4,5°	Stehen Sitzen
3. 33 Jahre	+3,5° +7,0°	+1,0° -2,0°	2,5° 9,0°	Stehen Sitzen

ein. Dieser Winkel, der ein Maß für die Orientierung der Gelenkflächen darstellt, ändert sich, wie bereits mehrfach beschrieben wurde (Schertlein 1928, Horwitz u. Smith 1940, Slijper 1946, Larcher 1947, Liechti 1948, Hadley 1961, Lutz 1967, Schmorl u. Junghanns 1968, Reichmann 1970/71), zwar von Segment zu Segment, sinkt aber nur in einzelnen Fällen auf den Wert Null ab. Dies würde nämlich bedeuten, daß rechte und linke Fläche parallel stehen. Zusätzlich konnten wir an sehr vielen Präparaten beobachten, daß die Processus articulares inferiores im allgemeinen auch nach kaudal hin einen Winkel miteinander bilden. An einem frontalen Schnitt lassen sich diese Verhältnisse besonders gut darstellen (Abb. 6).

2. Auswertung der Röntgenbilder

An drei ausgewählten Versuchspersonen maßen wir aufgrund von Röntgenbildern die absoluten Bewegungsausschläge der Lendenwirbel im Zuge der Rotationsbelastung sowohl im aufrechten,

lockeren Stand als auch in Sitzhaltung. Die Ergebnisse – in Tab. 4 dargestellt – zeigen deutlich, daß eine Rotationsmöglichkeit in der Lendenwirbelsäule zwischen den Segmenten L1 bis L5 grundsätzlich vorhanden ist. Die Rotationsausschläge sind allerdings nicht in allen Segmenten gleich groß. Besonders bemerkenswert ist der Unterschied zwischen den Maximalwerten, die wir durch Drehung im aufrechten Stand erhielten, und den Werten, die aufgrund der Rotation im Sitzen zustande kamen. Der wesentliche Unterschied in bezug auf die Ausgangslage der beiden Versuchsanordnungen besteht darin, daß im aufrechten Stand die Lendenlordose, den spezifischen Verhältnissen des Individuums entsprechend, sehr deutlich ausgeprägt ist, während sie in der sitzenden Haltung wesentlich geringer, wenn nicht überhaupt ausgeglichen erscheint. Abb. 7 zeigt an Röntgenaufnahmen die Schwankungen der Bewegungsausschläge im Zuge der Rotation an ein und demselben Individuum.

Diskussion

1. Gelenkspalt

Die Stellung der Gelenkflächen der Processus articulares inferiores und superiores zusammen bestimmen maßgeblich den Verlauf des Gelenkspaltes (Abb. 8 zeigt die Situation, wie sie bei der weit aus überwiegenden Zahl der Präparate zu finden ist, sehr deutlich). Es gibt zahlreiche röntgenologische Untersuchungen, die sich mit der Darstellbarkeit der lumbalen Wirbelgelenke befassen (Dittmar 1930, Horwitz u. Smith 1940, Oppenheimer 1940, Hadley 1961 u. a. m.). Ausgehend von der Annahme zylindrischer Gelenkflächen fordern die meisten Autoren eine Aufnahmerichtung in ungefähr 45° zur Sagittalebene. Auch wir können hier keine bessere Methode zur Darstellung der kleinen Wirbelgelenke des lumbalen Abschnittes angeben, wir möchten aber in diesem Zusammenhang noch einmal darauf hinweisen, daß der Gelenkspalt bei der überwiegenden Zahl der kleinen Gelenke unabhängig von der segmentalen Höhe und unabhängig von der Orientierung der Gelenkflächen in der Transversalebene abgewinkelt verläuft. Während der dorsale Abschnitt mit Hilfe der angegebenen Einstellung des Zielstrahles zumeist zur Abbildung gebracht werden kann, wird in dieser Projektion der ventrale Abschnitt nicht orthograd dargestellt. Betrachten wir den Gelenk-

Abb. 9 a u. b

Axiale Röntgenaufnahme 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. Die Abhängigkeit vom Grad der Sagittalflexion wird dargestellt.

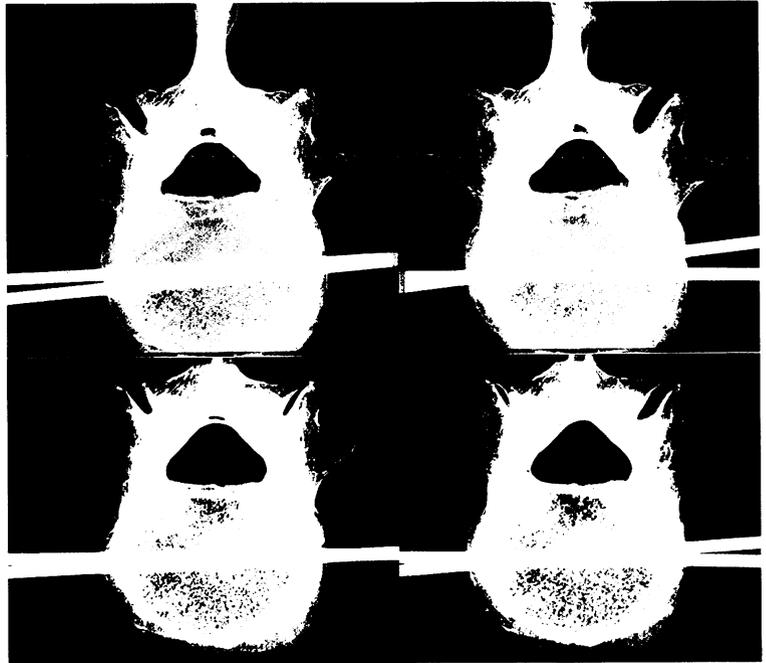


Abb. 9 a

Abb. 9 b

spalt am Schnitt (Abb. 8), so kommt besonders gut zum Ausdruck, daß die Knorpelaufgabe im Zentrum der Gelenkflächen etwas dicker ist als am Rande, eine Tatsache, auf die, wie erwähnt, schon *Reichmann* (1971) hingewiesen hat. In seiner Arbeit über die Entwicklung der lumbalen Gelenke beschreibt er sehr anschaulich die Wachstumsrichtung der Ränder der Gelenkfortsätze, stellt aber die von uns als Hauptgruppe gefundene Form als Variation der „normalerweise“ gekrümmten Gelenkflächen hin.

2. Verschiebungen der Gelenkfortsätze bei der Rotation

In der Folge sollen nun besonders die Verschiebungen der Gelenkfortsätze zueinander im Zuge der Rotation beschrieben werden. Veränderungen des Gelenkspaltes bei Lateral- und Sagittalflexion wurden in einer Reihe von Arbeiten ausführlich dargestellt (*Dittmar* 1930, *Bakke* 1931, *Hadley* 1961, *Reichmann* 1972), so daß in diesem Rahmen darauf nicht besonders eingegangen werden soll. *Gregersen* und *Lucas* (1967) haben den Versuch unternommen, an Versuchspersonen durch Direktmessung mittels eingebrachter Kontrolldrähte die Ausschläge bei Rotationsbelastung des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes direkt zu bestimmen. Die

erhaltenen Werte wurden von den Autoren zur Interpretation der Mechanik der kleinen Wirbelgelenke benützt, ohne dabei die anatomische Form der Gelenkkörper gebührend zu berücksichtigen. Wie schon in der Literaturübersicht festgestellt, wurde von ihnen ein gemeinsamer Krümmungsmittelpunkt des rechten und linken Wirbelgelenkes als Drehpunkt bei der geringen Rotation der lumbalen Bewegungssegmente angenommen. Daraus wurde gefolgert, daß es zu einer geringgradigen Rechts-links-Verschiebung der beiden Wirbelkörper kommen müßte und dadurch zu einer entsprechend schweren Belastung des jeweiligen Discus intervertebralis (*Morris* 1973).

Beim Studium von Röntgenbildern bei maximalen Rotationsstellungen konnten wir beobachten, daß der jeweils gleichnamige Gelenkspalt (bei Linksrotation der linke, bei Rechtsrotation der rechte) etwas erweitert erscheint. Diese Feststellung überprüften wir an isolierten Präparaten von Bewegungssegmenten, bei denen durch eingebohrte Metallstäbe der jeweilige Rotationsgrad leicht abzulesen war. In Abb. 9 a ist ein solches isoliertes Bewegungssegment zweimal im axialen Strahlengang dargestellt, einmal maximal nach rechts, einmal maximal nach links rotiert. Auch hier zeigt sich, daß der jeweils gleichnamige Gelenkspalt

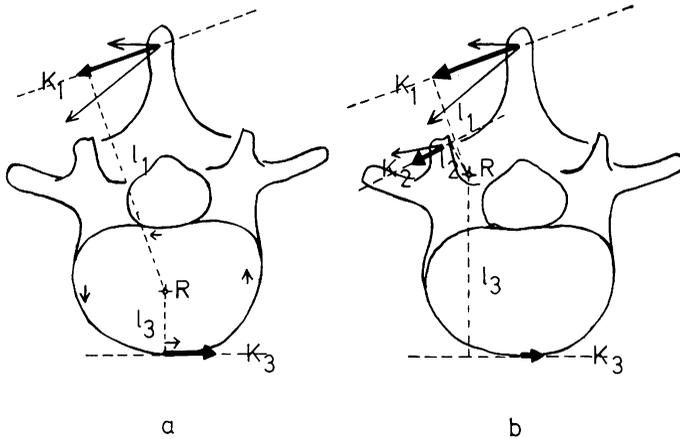


Abb. 10 a u. b

a) Wirkende Kräftepaare und Lage des Hebelpunktes während der Rotation.

b) wirkende Kräftepaare und Lage des Hebelpunktes 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.

etwas klafft. Daraus leitet sich ab, daß der Drehpunkt dieser Bewegung nicht in einem fiktiven Krümmungszentrum beider Gelenkspalten angenommen werden kann, sondern sehr weit ventral davon, nämlich in den Bereich des Discus intervertebralis zu liegen kommen muß.

Das Klaffen des jeweiligen Gelenkspaltes kann im Experiment vergrößert werden, wenn die Rotation bei Ventralflexion durchgeführt wird (Abb. 9b). Unsere Messungen an Versuchspersonen haben gezeigt, daß tatsächlich auch in vivo die Größe des Rotationsausschlages vom Flexionszustand in der Sagittalebene abhängt. Als Erklärung für diese Erscheinung können wir die Einstellung der Processus articularis inferiores anführen. Diese verhalten sich, wie bereits oben gezeigt wurde, so zu den Körperebenen, daß sie einerseits nach dorsal und andererseits nach kranial einen Winkel einschließen (Abb. 6 u. 8). Bei zunehmender Ventralflexion wandern die Processus articulares inferiores, bezogen auf die Processus articulares superiores, nach dorsal. Damit kommt es zwangsläufig zu einer Lockerung der gelenkigen Verbindung, die am Röntgenbild als Klaffen zu sehen ist (s. auch Abb. 7).

Nach Dittmar (1930) und Reichmann (1971) verändert sich der Gelenkspalt dabei keilförmig. Diese Beschreibung gilt für die Projektion in lateralem Strahlengang und betrifft den vorderen Anteil der Gelenke. In sagittaler Richtung betrachtet, bleiben die den dorsalen Abschnitt der Gelenkspalten begrenzenden Flächenanteile natürlich parallel, ihr Abstand nimmt aber etwas zu. Die nach dorsal ausgerichteten Teile der Gelenkflächen begrenzen

demnach die Rotationsbewegung. Die eher nach frontal ausgerichteten, also nach vorne abgewinkelten Anteile spielen dabei nach unserer Auffassung die Rolle eines Widerlagers. In diesem kleinen vorderen Bereich des Gelenkes könnte unter der Voraussetzung, daß der Anulus fibrosus des Diskus eine planparallele Verschiebung der begrenzenden Wirbelkörper zuläßt, eine minimale Verschiebung jeweils im Sinne der Rotation stattfinden.

Die Kräfte, die im Sinne der Rotation vor allem an den dorsalen Abschnitten der Wirbel (an Proc. spinosii, costarii, accessorii und mammillares durch Muskel- und Bänderzug, an den Gelenken durch passive Druckübertragung) wirksam werden, unterliegen in ihren Auswirkungen auf die Beanspruchung des Diskus dem Hebelgesetz.

Das wirksame Kräfteprodukt, welches sich aus dem Produkt von Kraft und senkrechtem Abstand auf den Hebelpunkt (Rotationspunkt) zusammensetzt, muß also dem Belastungsmoment, das sich in ähnlicher Weise errechnen läßt, entsprechen. In Abb. 10 haben wir den Versuch unternommen, das Verhältnis der Hebelarme in eine schematisierte Röntgenpause einzuzeichnen. Es soll dabei zum Ausdruck kommen, wie die auf den Diskus im Sinne der Rotation wirkenden Kräfte von der Lage des Dreh- bzw. Hebelpunktes abhängig sind. Unseres Erachtens verändert sich nämlich die Lage dieses Hebelpunktes beim Ablauf der Rotationsbewegung.

Soweit es die Stellung der Gelenkfortsätze erlaubt, kann in kleinem Ausmaße eine Drehbewegung um einen Drehpunkt im Zentrum des Diskus stattfinden. Wirken die Kräfte, welche zum Maximalaus-

schlag der Rotation geführt haben, trotz deren mechanischer Begrenzung weiter, so verlagert sich der Drehpunkt (Hebelpunkt) in den Bereich des Überganges vom dorsalen auf den ventralen Anteil der jeweiligen Gelenkfläche. Dabei treten fürs erste zusätzliche gleichsinnige Rotationskräfte auf, welche im dorsalen Abschnitt des Gelenkfortsatzes, wo sich die benachbarten Wirbel berühren, wirksam werden. Fürs zweite kommt es zu einer Verschiebung des Verhältnisses der Hebelarme, was auf die Veränderung der jeweiligen Drehmomente einen wesentlichen Einfluß hat. Der Hebelarm der Belastungskräfte, die sich auf den Diskus auswirken, wird also nach Abschluß der Rotationsbewegung, wenn nur noch die Rotationskräfte wirksam sind, zu einem Mehrfachen der dorsalen Hebelstrecke. Daraus ist abzuleiten, daß in der Folge der Rotation die Beanspruchung der einzelnen Disci nur einen Bruchteil der Kraftereinwirkung auf die verschiedenen Fortsätze, die dorsal vom Hebelpunkt liegen, ausmachen kann. Aus diesem Grunde können wir auch nicht der Ansicht von *Morris* (1973) folgen, wonach der Rotationsbelastung eine wesentliche Ursache für eine Schädigung des Discus intervertebralis zukommen soll. Als Bestätigung unserer Überlegungen betrachten wir weiterhin den Umstand, daß wir in Röntgenaufnahmen von maximalen Rotationsstellungen der Lendenwirbelsäule an Versuchspersonen keinerlei Hinweise auf planparallele Verschiebungen der Wirbelkörper finden konnten, obwohl auf Röntgenbildern von Sagittal- und Lateralflexionshaltungen eine sehr große Verformbarkeit der Disci festzustellen ist. Sollten wirklich große Kräfte im Sinne der Scherbewegung innerhalb des Diskus wirksam sein, wie verschiedene Autoren annehmen (*Güntz* 1958, *Gregersen* u. *Lucas* 1967, *Morris* 1973), so müßten zumindest geringfügige Verschiebungen in der Horizontalebene nachzuweisen sein.

Schlußbemerkungen

In der vorliegenden Darstellung haben wir den Versuch unternommen, aufgrund der Form der Gelenke der Lendenwirbelsäule einen Beitrag zur Mechanik der Beweglichkeit dieses Wirbelsäulenabschnittes zu leisten. Wir haben uns dabei im Sinne von *Rudolf Fick* (1911) bemüht, zur Betrachtung der möglichen Bewegungsvorgänge nicht starr an der Form der Gelenkflächen hängen-zubleiben. Es erschien uns vielmehr notwendig, die Form der

Gelenkflächen nur als eine der verschiedenen Komponenten, die beim Funktionsablauf innerhalb eines Bewegungssegmentes wirksam werden, zu betrachten. Wir vertreten die Meinung, daß die Mechanik der kleinen Gelenke der Lendenwirbelsäule – noch viel weniger als die der meisten übrigen Gelenke des Körpers – nicht isoliert, streng nach der räumlichen Anordnung gewertet werden darf.

In der Literatur wird die Wirbelsäule in ihrer Funktion häufig mit einem elastischen Stab verglichen. Dieses Beispiel verdeutlicht sehr gut, daß wir bei der funktionellen Untersuchung unser Achsenorgan immer als Ganzheit betrachten müssen. Darüber hinaus erscheint uns bei der Wertung der segmentalen Bewegungsmechanismen die Beschränkung auf die Wirbelsäule allein noch immer eine zu enge Grenze. Gerade in bezug auf die gesamte Drehbeweglichkeit des Körpers ist es notwendig, die Wirbelsäule und die nach oben und unten anschließenden Gelenke in geschlossenem, funktionellem Zusammenhang zu sehen. Von entscheidender Bedeutung für das Zusammenspiel der Gelenke ist dabei die Ausgangshaltung des Körpers (z. B. aufrechter Stand, sitzende Haltung). Sie bestimmt einerseits die Länge der auf eine bestimmte Funktion bezogenen wirksamen Gelenkette, andererseits auch aufgrund der Festlegung der Ausgangslage den Grad der möglichen Bewegung eines Gelenkes (Bewegungssegmentes). Bezogen auf einzelne Möglichkeiten der Körperhaltung geht daraus hervor, daß in verschiedenen Abschnitten der wirksamen Gelenkkette unterschiedliche Bewegungsausschläge in Abhängigkeit von der jeweiligen Stellung des Körpers möglich sind. Funktionell zusammengehörige Anteile können sich im Hinblick auf das Ziel einer bestimmten Bewegung gewissermaßen gegenseitig vertreten.

So gesehen erscheint die Zunahme der Rotationsmöglichkeit innerhalb des lumbalen Wirbelsäulenabschnittes etwa in sitzender Haltung – also bei abgeschwächter Lordosierung – sinnvoll. Die Einschränkung der Beweglichkeit des Beckens, die sich durch die Sitzhaltung ergibt, wird dadurch etwas ausgeglichen.

Umgekehrt spielt es keine Rolle, wenn die Lendenwirbel im aufrechten Stand – also bei jeweils verstärkter Lordosekrümmung – zueinander weitgehend fixiert werden. In diesem Fall übernehmen die Gelenke der unteren Extremität, die unteren

Anteile der Bewegungskette, die Aufgabe der Drehung des Stammes.

Auf den ersten Blick ist man versucht, die abgewinkelte bzw. die unregelmäßig zylindrische Form der Gelenkflächen für eine sehr breitgestreute Variabilität oder sogar für pathologische Veränderungen zu halten. Wir hoffen aber, daß es uns in der vorliegenden Arbeit gelungen ist, die Aufteilung der einzelnen Gelenkflächen der lumbalen Wirbelgelenke in einen mehr frontal eingestellten vorderen und einen eher sagittal eingestellten dorsalen Abschnitt als sinnvolle Normalform darzustellen und die funktionellen Auswirkungen entsprechend zu begründen. *Henle* (1871) und auch noch *Fick* (1911) zählen diese Gelenke zu den „schlottrigen und unberechenbaren, bei denen die Ungenauigkeit der Ausführung zum Prinzip erhoben ist“. Wir haben hier versucht, den Nachweis zu erbringen, daß die räumliche Anordnung der Gelenkflächen der Wirbelgelenke einen wesentlichen Faktor für die Mechanik innerhalb der lumbalen Bewegungssegmente darstellt.

Literatur

- Aeby, Ch.*: Der Bau des menschlichen Körpers. Vogel, Leipzig 1871
- Bakke, S. N.*: Röntgenologische Beobachtungen über die Bewegungen der Wirbelsäule. Acta radiol. (Stockh.) Suppl. 13 (1931)
- Braus, H., C. Elze*: Anatomie des Menschen, Bd. I, 3. Aufl. Springer, Berlin 1954
- Dittmar, O.*: Beobachtungen an den Gelenkfortsätzen der Lendenwirbel bei sagittal- und lateralflexorischer Bewegung. 2. Mitt. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 93 (1930) 477
- Fick, R.*: Spezielle Gelenk- und Muskelmechanik. In: Handbuch der Anatomie und Mechanik der Gelenke, Teil 3. Fischer, Jena 1911
- Gardner, E., D. J. Gray, R. O'Rahilly*, 3. Aufl. Saunders, London 1969
- Gegenbaur, C.*: Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Engelmann, Heidelberg 1883
- Gray's Anatomy*: Ed. by R. Warwick, P. L. Williams, 35. Aufl. Longman, London 1973
- Gregersen, G., D. B. Lucas*: An in vivo study of the axial rotation of the human thoracolumbar spine. J. Bone Jt Surg. 49-A (1967) 247
- Güntz, E.*: Wirbelsäule und Becken in Ruhe und Bewegung. In: Handbuch der Orthopädie, Bd. II. (Hrsg. v. G. Hohmann, M. Hackenbroch, K. Lindemann.) Thieme, Stuttgart 1958
- Hadley, L.*: Anatomico-roentgenographic studies of the posterior spinal articulations. Amer. J. Roentgenol. 86 (1961) 270
- Henle, J.*: Handbuch der Knochenlehre des Menschen, 3. Aufl. Vieweg, Braunschweig 1871
- Horwitz, Th., R. M. Smith*: An anatomical, pathological and roentgenological study of the intervertebral joints of the lumbar spine and of the sacroiliac joints. Amer. J. Roentgenol. 43 (1940) 173
- Krämer, J.*: Biomechanische Veränderungen im lumbalen Bewegungssegment. In: Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd. 58. Hippokrates, Stuttgart 1973
- Larcher, F.*: Beitrag zur Entwicklung der Lendenwirbelsäule beim Menschen. Dissertation, Zürich 1947
- Liedtke, A.*: Die Roentgendiagnostik der Wirbelsäule, 2. Aufl. Springer, Berlin 1948
- Lukas, R.*: Beitrag zur Bestimmung von Rotationsgraden an Wirbelkörpern mittels Wirbelmesser. Z. Orthop. 91 (1959) 286
- Lutz, G.*: Die Entwicklung der kleinen Wirbelgelenke. Z. Orthop. 104 (1967) 19
- Morris, J. M.*: Biomechanics of the spine. Arch. Surg. (Chic.) 107 (1973) 418
- Oppenheimer, A.*: The apophyseal intervertebral joints. Surgery 8 (1940) 699; zit. in Zbl. Radiol. 33 (1941) 133
- Pernkopf, E.*: Topographische Anatomie des Menschen, Bd. I. Urban & Schwarzenberg, München 1937
- Putz, R., A. Pomaroli*: Form und Funktion der Articulatio atlantoaxialis lateralis. Acta anat. 83 (1972) 333
- Putz, R.*: Beitrag zur Morphologie und Funktion der kleinen Gelenke der Lendenwirbelsäule. Anat. Anz. (im Druck)
- Reichmann, S.*: Motion of the lumbar articular processes in flexion-extension and lateral flexions of the spine. Acta morph. neerl. scand. 8 (1970/1971) 261
- Reichmann, S.*: The postnatal development of Form and Orientation of the Lumbar Intervertebral Joint Surfaces. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 133 (1971) 102
- Reichmann, S., E. Berglund, K. Lundgren*: Das Bewegungszentrum in der Lendenwirbelsäule bei Flexion und Extension. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 138 (1972) 283
- Sieglbauer, F.*: Normale Anatomie des Menschen, 8. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München 1958
- Schertlein, A.*: Über die häufigsten Anomalien an der Brustlendenwirbelsäulengrenze. Fortschr. Röntgenstr. 38 (1928) 478
- Schmorl, G., H. Junghans*: Die gesunde und kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik, 5. Aufl. Thieme, Stuttgart 1968
- Slijper, E. P.*: Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals. Verh. kon. ned. Akad. Wet. 42 (1946); zit. bei: S. Reichmann: Z. Anat. Entwickl.-Gesch. 133 (1971) 102
- Stofft, E., K. H. Grosam*: Sport und Wirbelsäule. Anat. Anz. 137 (1975) 369
- Strasser, H.*: Lehrbuch der Muskel- und Gelenkmechanik. Springer, Berlin 1913
- Töndury, G.*: In: Rauber-Kopsch: Lehrbuch und Atlas der Anatomie des Menschen, Bd. I, 20. Aufl. Thieme, Stuttgart 1968
- Waldeyer, A.*: Anatomie des Menschen, 7. Aufl. de Gruyter, Berlin 1972