

Der Orthopäde

Herausgegeben von

R. Bauer, Innsbruck · N. Gschwend, Zürich

D. Hohmann, Erlangen · E. Morscher, Basel

L. Schweiberer, München · H. Tscherne, Hannover

H. Wagner, Nürnberg/Rummelsberg · U. H. Weil, New Haven

Band 17 · 1988



Springer-Verlag

Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo

Bandinhaltsverzeichnis Band 17 1988

Heft 1: *Aktuelles aus der Unfallchirurgischen Praxis*

Redigiert von H. Tscherne

H. Tscherne: Einführung zum Thema	1
P. Kalbe, C.-J. Kant: Erstmaßnahmen am Unfallort aus der Sicht des Unfallchirurgen	2
M. L. Nerlich, U. Bosch: Wunde und Wundbehandlung, Tetanusprophylaxe	11
J.-E. Hausamen: Weichteil- und Knochenverletzungen des Gesichtes	17
M. L. Nerlich, U. Bosch: Die infizierte Wunde	24
V. Bühren, O. Trentz: Prinzipien der primär funktionellen Frakturbehandlung	30
H. Hackstock: Funktionelle Schienenbehandlung von Frakturen	41
H.-J. Oestern: Distale Radiusfraktur	52
A. Pannike: Frakturenbehandlung an der Hand	64
A. Berger: Weichteilverletzungen im Handbereich	74
D. Buck-Gramcko: Verletzungen der Beuge- und Strecksehnen an Hand und Unterarm und ihre Behandlung	82
M. Wannske: Infektionen der Hand	89
P. J. Flory, A. Berger: Erstbehandlung von Amputationsverletzungen	96
H. Vossmann, P. R. Zellner: Erstbehandlung von Verbrennungen	101
H. Reilmann, U. Bosch, M. Barthels: Thromboembolieprophylaxe in der Chirurgie	110

Heft 2: *Weichteiltumoren des Bewegungsapparates*

Redigiert von E. Morscher

E. Morscher: Einführung zum Thema	119
S. Leyvraz, J. Costa: Die interdisziplinäre Erfassung von Weichteilsarkomen. Diagnose, Gradierung und Staging	121
R. Graf, P. Schuler: Sonographie bei Weichteiltumoren	128
M. Reiser, W. Wiesmann, R. Erlemann, A. Härle, K. Bohndorf, P. Wuismann, V. Kunze, P. E. Peters: Computertomographie und magnetische Resonanztomographie bei Weichteiltumoren	134

U. Weber, A. Schulz: Klassifikation, klinische Aspekte und diagnostische Pathologie der Weichteiltumoren	143
U. Bertram: Weichteiltumoren im Kindesalter	164
C. Gerber, R. Joss, H. Laeng, R. Ganz: Chirurgische Behandlungskonzepte bei Weichteiltumoren des Bewegungsapparates	169
R. Greiner, P. Thum, R. Kann: Die Strahlentherapie der Weichteilsarkome der Extremitäten	182
E. Walther, R. Hünig, S. Zalad: Behandlung der aggressiven Fibromatose (Desmoid). Verringerung der Rezidivrate durch postoperative Bestrahlung	193
J. P. Obrecht, R. Ludwig: Chemotherapie bei Weichteiltumoren	201
H. Nigst: Weichteiltumoren der Hand	209
A. Imhoff, A. Schreiber: Zur Ätiologie und Pathogenese der Synovitis villonodosa pigmentosa	223
A. Imhoff, A. Schreiber: Synoviale Chondromatose	233

Heft 3: *Traumatologie am Ellbogengelenk*

Redigiert von L. Schweiberer

L. Schweiberer: Einführung zum Thema	245
J. Poigenfürst: Extraartikuläre Ellbogenfrakturen	246
A. Bodoky, U. Neff, P. Regazzoni: Intraartikuläre unikondyläre Humerusfrakturen. Spätresultate nach stabiler Osteosynthese	257
H. Seiler, O. Trentz: Bicondyläre Frakturen	262
J. Feil, C. Burri, H. Kiefer: Offene Frakturen des Ellbogengelenkes	272
G. Muhr, M. Kayser: Die infizierte Ellbogengelenkfraktur	279
P. Müntz, E. H. Kuner, M. Beckmann: Konservative Behandlung kindlicher Ellbogenfrakturen	287
P. Engelhardt: Intraartikuläre Frakturen des Ellbogens im Kindesalter	297
E. Walter, U. Holz, H. Köhle: Die Indikation zur Operation bei der Ellbogenluxation	306
P. Habermeyer: Konservative Behandlung von Ellbogenluxationen	313
A. Betz: Die operative Differentialtherapie bei der Radiusköpfchenfraktur	320
P. Hertel, T. Verdenhalven: Monteggia-Verletzungen	328

Heft 4: Orthopädie am Ellbogengelenk

Redigiert von R. Bauer

R. Bauer: Einführung zum Thema	337
R. Putz, M. Müller-Gerbl: Funktionelle Anatomie des Ellbogengelenkes	338
U. Banniza v. Bazan, L. Jani: Kongenitale Veränderungen am Ellbogengelenk	347
C. J. Wirth: Sekundäre Bandinstabilitäten im Ellbogengelenksbereich	353
F. Kerschbaumer: Operative Therapiemöglichkeiten am Ellbogen bei chronischer Polyarthrit	359
N. Gschwend, J. Loehr, D. Ivosevic-Radovanovic: Die Ellbogen-Arthroplastik	366
M. Eichenauer, R. Wödlinger: Aseptische Nekrosen und Osteochondrosis dissecans des Ellbogengelenkes	374
J. U. Baumann: Neuro-orthopädische Probleme im Ellbogengelenksbereich	382

Heft 5: Osteopathien: Möglichkeiten und Grenzen konservativer und operativer Behandlung im Erwachsenenalter

Redigiert von H.-G. Willert und A. Enderle

H.-G. Willert: Einführung zum Thema	391
W. Remagen: Sechs generalisierte und lokale Osteopathien	392
H. Zollinger, A. Goldmann: Indikation und Möglichkeiten operativer Therapie bei der Osteodystrophia deformans Paget	397
P. Engelhardt, A. Bodle: Hüftendoprothesen beim Morbus Paget	404
R. Ziegler: Morbus Paget des Skelettes	407
P. Griss, T. Schäfer: Therapie von Knochen- und Gelenkveränderungen bei der Osteopetrose Albers-Schönberg	411

K. J. Münzenberg, H. Meßler, A. Enderle: Das mechanische Verhalten des Knochens bei schwerer Osteoporose unter spezieller Berücksichtigung der Hüftendoprothetik	420
M. A. Dambacher: Medikamentöse Therapie der Osteoporose	425
A. Enderle: Biologisch-mechanisches Verhalten des Knochens bei der Osteomalazie und beim Phosphatdiabetes im Erwachsenenalter	432
L. Zichner: Therapie von Knochen- und Gelenkveränderungen bei renaler Osteodystrophie im Erwachsenenalter	440
D. Gisbertz, R. Baumgartner: Orthopädiotechnische Versorgung bei Osteopathien im Erwachsenenalter	447

Heft 6: Luxationshüfte

Redigiert von H. Wagner

H. Wagner: Einführung zum Thema	451
B. Kummer: Biomechanischer Aspekt der Luxationshüfte	452
P. Engelhardt: Die Bedeutung des Zentrumeckenwinkels zur Prognose der Dysplasiehüfte 50 Jahre nach Erstbeschreibung durch G. Wiberg	463
D. Hohmann, S. Hu, R. Köppel, H. Legal, H. Scheuring: Ansätze zu einer computergestützten Operationsplanung bei der Luxationshüfte	468
N. Gschwend, M. Rubeli: Spätergebnisse der Colonna-Arthroplastik	472
P. Moulin, E. Morscher: Langzeitresultate der Becken-Osteotomie nach Salter	479
P. Buess, E. Morscher: Die schenkelhalsverlängernde Osteotomie mit Distalisierung des Trochanter major bei Coxa vara nach Hüftluxation	485
Sachregister	491
Inhalt Band 17	I

Funktionelle Anatomie des Ellbogengelenkes

R. Putz und M. Müller-Gerbl

Anatomisches Institut, Lehrstuhl III, Freiburg i. Br.

Functional anatomy of the elbow joint

Summary. An attempt has been made to describe the combined action of the bony elements of the elbow joint, together with the capsular ligaments, as a single unit. Particular emphasis is laid upon the mechanisms that prevent abrupt limitation of movement. The account of the periarticular structures, including the adjacent muscles, is followed by a discussion of the various possible surgical approaches to the joint. Finally, a general survey is given of the kinematics and kinetics of the elbow joint. It is suggested that the distribution of the hyaline articular cartilage and the density of the underlying bone are morphological reflections of the stresses acting upon the joint. It follows that the axial pressure acts upon both the ulnar and the radial components of the elbow; therefore, if the joint is to remain stable, at least one of its distal bony elements must be functionally effective.

Key words: Thickness of cartilage - Subchondral mineralization - Capsular ligaments - Topography - Mechanics.

Zusammenfassung. Es wird der Versuch unternommen, die Wechselwirkung von Gelenkkörpern und Kapselbandapparat des Ellbogengelenkes als funktionelle Einheit zu zeigen. Besonders werden die Mechanismen herausgestellt, die für eine langsame Begrenzung der Bewegungsausschläge sorgen. Von den periartikulären Strukturen und gelenknahen Muskeln aus wird auch auf den operativen Zugang zum Gelenk eingegangen. Schließlich wird ein Überblick über die Kinematik und Kinetik des Gelenkes gegeben. Als morphologische Parameter der Druckbeanspruchung wird auf die Verteilung des hyalinen Gelenkknorpels und der subchondralen

Knochendichte hingewiesen und daraus geschlossen, daß sowohl im ulnaren als auch im radialen Gelenkbereich axiale Druckkräfte übertragen werden. Für die Sicherung der Stabilität muß mindestens einer der beiden distalen Gelenkkörper voll funktionsfähig erhalten bleiben.

Schlüsselwörter: Knorpeldicke - subchondrale Mineralisierung - Kapselbandapparat - Topographie - Mechanik.

Das aus drei Gelenkkörpern zusammengesetzte Ellbogengelenk, *Articulatio cubiti*, entwickelt sich und erhält seine Bedeutung in der Evolution als wesentliche Adaptationseinrichtung für die Umwendebe-
wegung. Funktionell ist es daher nur als Ganzheit mit dem distalen Radioulnargelenk, *Articulatio radioulnaris distalis*, zu verstehen. Darüber hinaus wirken auf das Ellbogengelenk eine Reihe von mehrgelenkigen Muskeln, so daß es auch aus dieser Sicht nur einen Teil des funktionellen Systems „Obere Extremität“ darstellt. Innerhalb der gemeinsamen Gelenkkapsel artikulieren die drei beteiligten Gelenkkörper in drei Gelenken: *Articulatio humeroradialis*, *Articulatio humeroulnaris* und *Articulatio radioulnaris proximalis*.

Gelenkkörper

Der distale Gelenkkörper des Humerus, *Condylus humeri*, gliedert sich in das *Capitulum humeri*, das einem Ausschnitt von etwa 35% einer nahezu idealen Kugeloberfläche entspricht, und die *Trochlea*

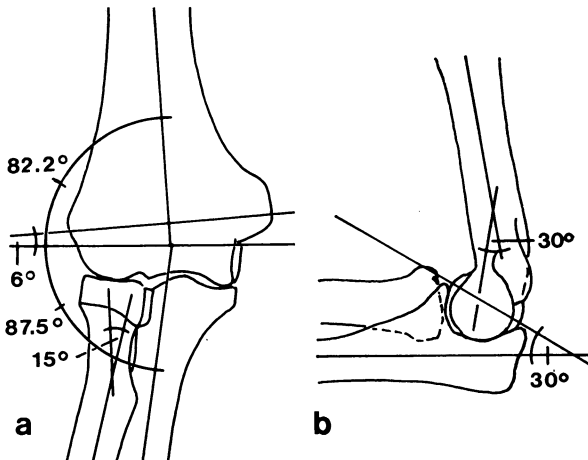


Abb. 1 a und b. Kinematisch relevante Winkel. a Ventralansicht, b Lateralansicht

humeri, die gewöhnlich als Ausschnitt der Oberflächen zweier einander mit den Spitzen zugekehrter Kegelstümpfe gesehen wird. Beide Gelenkkörper sind durch eine schmale, in etwa sagittal eingestellte Leiste getrennt, so daß schon von der Ausbildung der Gelenkkörper her eine weitgehende Sicherung gegen Lateralverschiebung gegeben ist (Abb. 1).

Das Caput radii ist proximal sphärisch zur Fovea articularis vertieft und wird rundum von der etwa 5 mm (radial) bis 10 mm (ulnar) breiten Circumferentia articularis begrenzt, deren proximale Kante bei älteren Individuen ulnar häufig eine schmale, mondformige Abschrägung, „Lunula“, aufweist. Die distale Kante der Circumferentia ist scharf gegen das Collum radii abgesetzt. Zumeist ist der Querschnitt des Caput radii nicht exakt kreisförmig, sondern etwas elliptisch, wobei die längere Achse (ca. 28 mm [10]) sagittal ausgerichtet ist.

Die Knorpelauflagerung des Capitulum erstreckt sich in der Sagittalebene auf einen Bogenwinkel von ca. 210°, die Fortsetzung der Krümmung von ca. 30° bis zur Fossa radialis ist von Synovialmembran bedeckt. Auf Höhe der Fossa coronoidea und der Fossa olecrani beträgt der Kreisabschnitt der Trochlea etwa 345°, davon sind ca. 215° überknorpelt.

Die rechteckige Incisura radialis der Ulna ist ebenfalls zylinderförmig gekrümmt, stellt aber nur einen Ausschnitt von etwa 25% eines Hohlzylinders dar. Ihre proximale Kante ist gegen die Incisura trochlearis in einem Winkel von etwa 105° abgesetzt. Die Incisura trochlearis selbst wird durch einen Knorpelfirst in zwei Facetten geteilt, die, ventral etwas steiler, dorsal etwas flacher, dachartig nach den beiden Seiten abfallen. Beide Flächenanteile entsprechen in ihrer Form weitgehend der

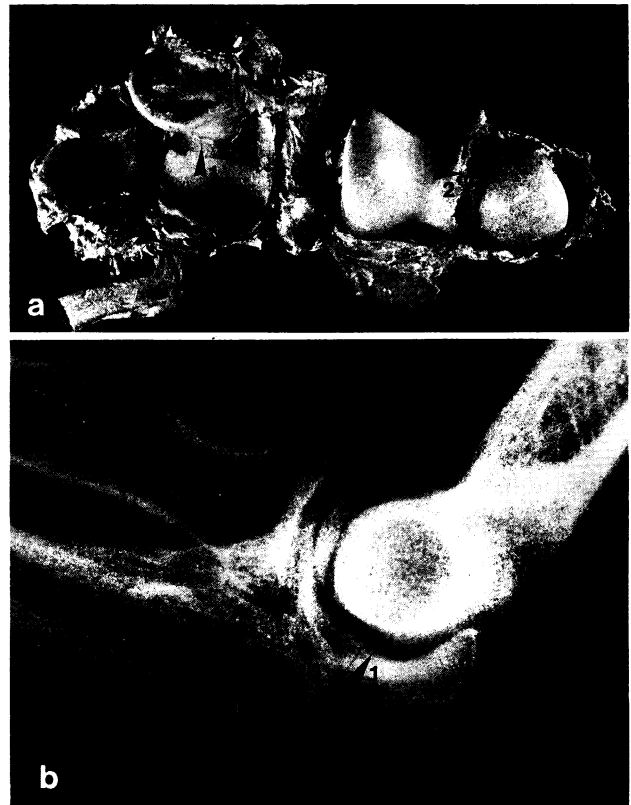


Abb. 2 a und b. Gelenkkörper. a Rechtes Ellbogengelenk, aufgeklappt. Übersicht über die knorpelbedeckten Gelenkkörper. b Seitliches Röntgenbild. 1=Bindegewebs- bzw. Knochenleiste, die die beiden Anteile der Gelenkfläche der Incisura trochlearis trennt; 2=arthrotische Veränderungen an klassischen Stellen: Rand des Caput radii und laterale Leiste der Trochlea humeri; 3=dicke synoviale Falten an typischer Stelle

Trochlea humeri, die Überknorpelung erstreckt sich auf etwa 190° und bezieht die Spitze des Proc. coronoideus und des Olecranon ein.

Zwischen dem ventralen, auf den Proc. coronoideus auslaufenden und dem dorsalen, die Vorderfläche des Olecranon bedeckenden Teil der Incisura trochlearis findet sich sehr oft eine isthmusartige Einziehung (Abb. 2). Häufig sind die knorpeligen Bedeckungen beider Flächenanteile durch eine Bindegewebsleiste getrennt, im seitlichen Röntgenbild ist dabei eine kleine Erhebung entsprechend einer queren knöchernen Leiste zu sehen. Die Unterteilung der Incisura trochlearis ist allerdings nicht als Relikt der Entwicklung des proximalen Ulnaendes aufzufassen, sondern ist nach heutiger Meinung vielmehr das morphologische Korrelat der funktionellen Anpassung an die statischen Kräfte im Humeroulnargelenk, wie von Pauwels [23] und von Tillmann [30–32] gezeigt wurde.

Hinweise auf die statische Beanspruchung innerhalb von Gelenken gibt vor allem die Verteilung

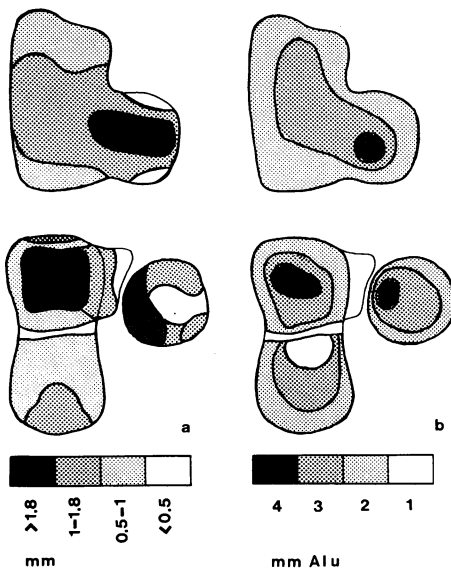
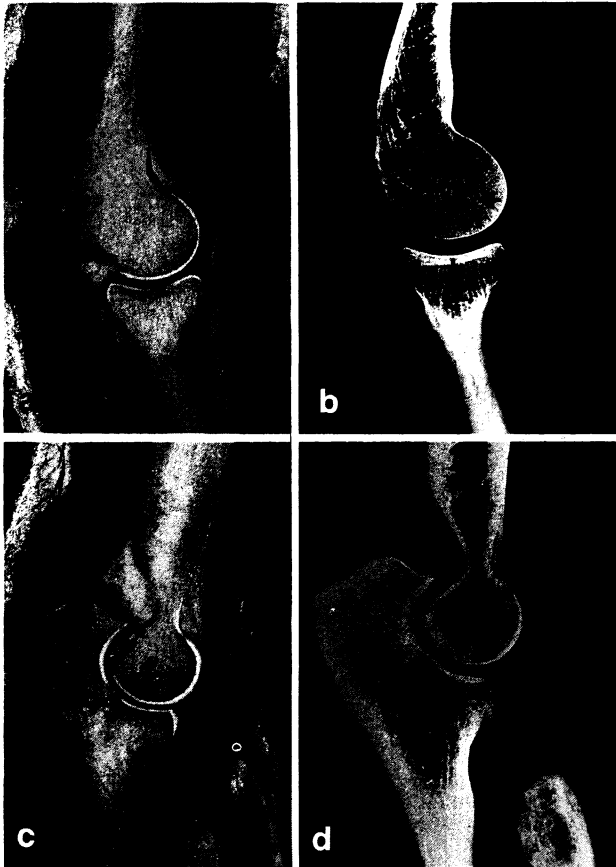


Abb. 3a und b. Verteilung der Knorpeldicke und der subchondralen Mineralisierung (unter Bezug auf [11, 20, 21] und eigene Untersuchungen an vier Präparaten) an Condylus humeri (oben) und Caput radii sowie Incisura trochlearis (unten). **a** Knorpeldicke in Millimetern. **b** Subchondrale Mineralisierung in Dichtestufen entsprechend Millimeter Aluminium

der subchondralen Mineralisierung. Eigene densitometrische Untersuchungen haben gezeigt, daß die Maxima im Bereich des Capitulum humeri auf der einen und der Fovea articularis des Caput radii auf der anderen Seite liegen. Die nächstniedrigeren Dichtestufen dehnen sich entsprechend auf die ventrale Fläche der Trochlea humeri und der Incisura trochlearis aus (Abb. 3). Nach Kurrat et al. [11] und Oberländer et al. [20] sind die Stellen der größten Knorpeldicke identisch mit jenen, an denen am häufigsten arthrotische Veränderungen auftreten. Dies ist der Fall am medialen Rand des Caput radii, an der lateralen, distalen Fläche der Incisura radialis, am ventrodistalen Bereich des Capitulum humeri und am lateralen Trochleawulst [7, 11, 20, 30, 32].

Auffallend ist, daß vor allem in den Randzonen die Knorpeldicke nicht gleich wie die subchondrale Mineralisierung verteilt ist. An den Gelenken der unteren Extremität, wo eine Übereinstimmung besteht, wurde sie als Indiz für Anpassung an die statische Belastung gewertet. Da die beiden morphologischen Parameter an der oberen Extremität, zumindest in Schulter- und Ellbogengelenk, nicht korrelieren, muß gefolgert werden, daß die Erhaltung des Knorpelgewebes und die subchondrale Mineralisierung unterschiedlichen mechanischen Reizen folgen. Unserer Auffassung nach stellt die Verteilung der subchondralen Mineralisierung die Anpassung an statische Kräfte dar, während die Ausbildung der Knorpeldicke dynamischen Faktoren folgt [18].



Gelenkkapsel

Die Membrana synovialis kleidet das gesamte Gelenk mit Ausnahme der Gelenkknorpel aus. Im Bereich der Innenfläche des Lig. anulare radii findet sich ebenfalls eine dünne Knorpelzellige. Nur im Bereich der distalen Flächen der Epikondylen sowie am Olecranon liegt sie der Knochenoberfläche relativ fest an, ansonsten ist sie - besonders im Bereich der Fossa olecrani, der Fossa coronoidea und der Fossa radialis - durch dicke Fettpolster von der knöchernen Unterlage getrennt (Abb. 4). Ein weiter Recessus umgibt das Collum radii; auch hier liegt die Membrana synovialis vor Erreichen der Knochenknorpelgrenze der Knochenoberfläche an.

Abb. 4a-d. Längsschnitte. **a, b** Humeroradialgelenk, anatomischer Längsschnitt und zugehöriges Röntgenbild. **c, d** Humeroulnargelenk, anatomischer Längsschnitt und zugehöriges Röntgenbild. In **a** ist besonders gut die Knorpelverdickung des Randes des Caput radii zu sehen, in **b** die zentrale Sklerosierung (+). Beachtenswert sind auch die spitzbogenartig angeordneten Spongiosabälkchen des distalen Humerusschaftes. Die Pfeile in **c** und **d** sind auf die knöcherne Leiste zwischen den beiden Anteilen der Gelenkfläche der Incisura trochlearis gerichtet. Das Olecranon besitzt ebenfalls eine deutliche spitzbogenartig ausgerichtete Spongiosa

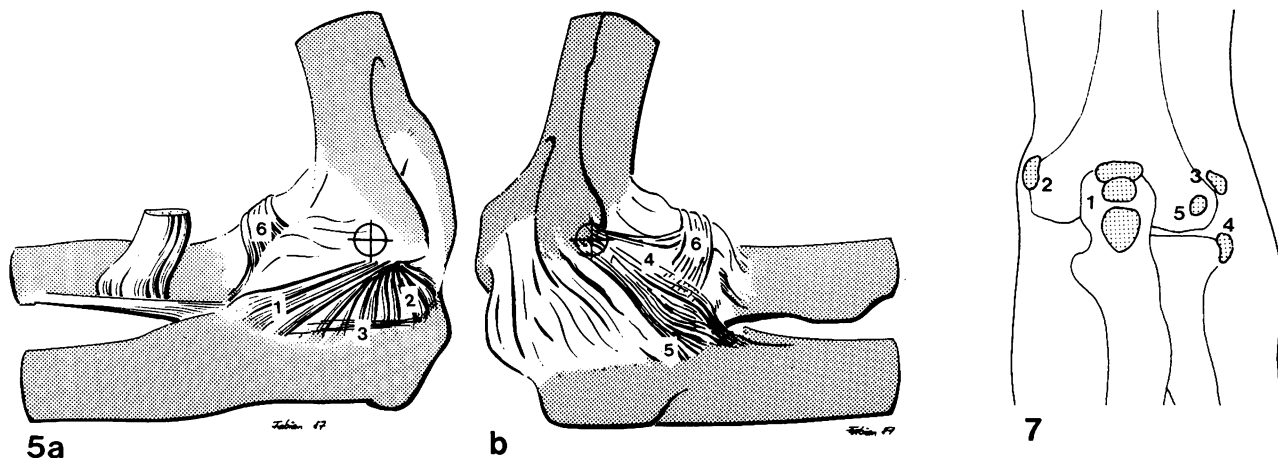


Abb. 5a und b. Kapselbandapparat mit eingezeichneter Flexions-/Extensionsachse. **a** Medialansicht. **b** Lateralansicht. 1 = Vorderer Anteil des Lig. collaterale ulnare; 2 = hinterer Anteil des Lig. collaterale ulnare; 3 = quere Faserzüge; 4 = Lig. collaterale radiale; 5 = hinterer Anteil des Lig. collaterale radiale mit Insertion an der Crista m. supinatoris; 6 = Lig. anulare radii

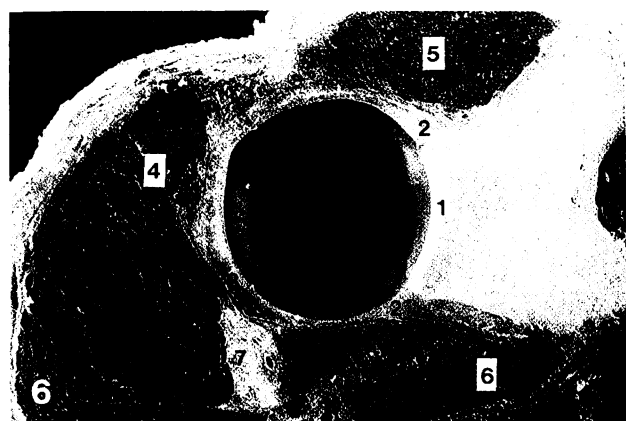


Abb. 6. Proximales Radioulnargelenk, anatomischer Transversalschnitt, caput radii entfernt; 1 = Incisura trochlearis; 2 = verbreiterte Anheftung des Lig. anulare an den Kanten der Incisura trochlearis; 3 = Lig. anulare radii mit Einstrahlung des M. supinator; 4 = radiale Muskeln; 5 = M. anconeus; 6 = M. brachialis; 7 = N. radialis

Abb. 7. Periartikuläre Bursae synoviales, Dorsalansicht. 1 = Bursa m. tricipitis; 2 = Bursa im Bereich des Epicondylus medialis; 3 = Bursa im Bereich des Epicondylus lateralis; 4 = Bursa des M. extensor carpi radialis brevis; 5 = Bursa des M. anconeus

Überall dort, wo die Gelenkkörper mit ihren abgerundeten Kanten Nischen freilassen, ragen zum Teil große synoviale Falten in den Gelenkspalt. Im Bereich der Fossae und entlang dem Olecranon sind sie weich, von Fett unterfüttert und stellen volumsveränderliches Füllgewebe dar. Eine derbfibröse, meniskusähnliche Falte findet sich aber meist im Humeroradialgelenk (Abb. 4).

Die Membrana fibrosa ist ventral, dorsal und in den Bereichen der genannten Recessus relativ dünn. Lateral und medial ist sie durch die sehr festen Kollateralbänder verstärkt, etwas fester ist auch die vordere Fläche der Gelenkkapsel (Abb. 5). Sie ist durch diagonale Faserzüge verstärkt, in die die innersten Fasern des M. brachialis einstrahlen.

Die Gelenkkapsel wird dorsolateral, lateral und ventrolateral von tiefen Muskelästen des N. radialis versorgt. Auf die Ventralseite zieht der Brachialisast des N. musculocutaneus, den ventromedialen Bereich innerviert der Pronatorast sowie ein selbständiger Gelenkast des N. medianus. Die ulnare und ventroulnare Seite schließlich wird vom N. ulnaris

versorgt, von dem aus direkte Äste an die Gelenkkapsel herantreten [5, 12].

Kapsel-Bandapparat

Sowohl das Lig. collaterale ulnare als auch das Lig. collaterale radiale mit dem Lig. anulare radii stellen komplex gebaute Fasersysteme dar, die exakt auf die Geometrie der Gelenkkörper abgestimmt sind und die Kinematik des Gelenkes entscheidend bestimmen. Auf das sog. Lig. quadratum, das als meist nur sehr dünne, rechteckige Platte die Unterkante der Incisura radialis mit dem Collum radii verbindet, soll hier mangels Bedeutung nicht näher eingegangen werden.

Das Lig. collaterale ulnare stellt eine in etwa dreiseitige Platte dar, die aus einem vorderen, einem hinteren und einem häufig schwach ausgebildeten queren Anteil („Cooper-Band“) besteht. Diese dreiseitige Faserplatte divergiert, ausgehend vom unteren Umfang des Epicondylus medialis, zur Vorder- bzw. Seitenkante des Proc. coronoideus und zur Sei-

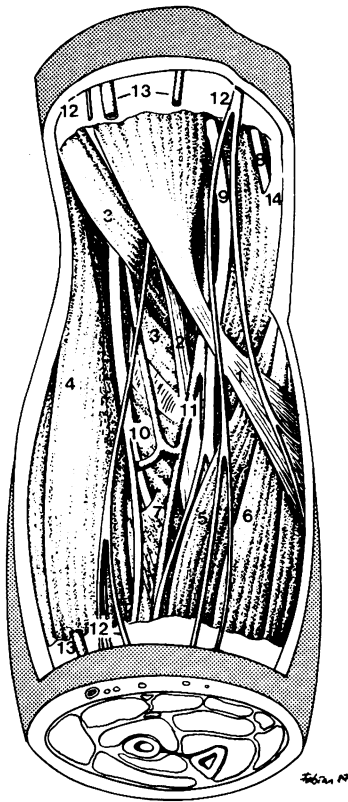


Abb. 8. Topographie des Ellbogengelenkes, Ventralansicht. 1=M. biceps brachii, Lacertus fibrosus; 2=M. biceps brachii, Sehne zur Tuberositas radii; 3=M. brachialis; 4=M. brachioradialis; 5=M. pronator teres; 6=M. flexor carpi radialis; 7=M. supinator; 8=N. ulnaris; 9=N. medianus; 10=N. radialis mit oberflächlichem und tiefem Ast („Radialistunnel“) und A. recurrens radialis; 11=A. brachialis; 12=Hautnerven; 13=Hautvenen; 14=Septum intermusculare mediale

ten- bzw. Hinterkante des Olecranon [2, 4, 12]. Damit kommt die Flexions-/Extensionsachse des Ellbogengelenkes nach Morrey [14] relativ proximal vor dieser Platte zu liegen. Dies bedeutet, daß in der Endphase der Flexion alle Anteile, in der Endphase der Extension nur der ventrale Anteil des Bandes gespannt werden. Auf Grund des geringen senkrechten Abstandes der Randpartien dieses Bandes zur Flexions-/Extensionsachse erfolgt die Spannungszunahme in den Endstellungen nicht ruckartig, sondern mit etwas Verzögerung. Dies führt zu einer zeitlichen und damit auch lokalen Verteilung der hohen Kräfte, die beim kraftvollen Ausnutzen des gesamten Bewegungsumfanges des Gelenkes in den Endphasen auftreten.

Die, auf den Epicondylus medialis bezogen, radiäre Einstrahlung der Fasern des Lig. collaterale ulnare führt des weiteren dazu, daß im Ablauf der Flexion die proximalen Anteile der Fasern ineinander verschoben werden [8], ein Mechanismus, wie er auch am Lig. collaterale mediale des Kniegelenkes

zu finden ist. Diese Verwirrung ist als wichtiger Anteil der dynamischen Stabilisierung dieses Gelenkes zu verstehen [8, 15, 16, 28].

Das Lig. collaterale radiale entspringt im Gegensatz zu dem vorgenannten Band nahezu exakt im Bereich des Durchstoßpunktes der Flexions-/Extensionsachse durch den Epicondylus lateralis humeri (Abb. 5) und ist mit der Ursprungssehne des M. supinator fest verwachsen [2, 4, 12, 24]. Nach distal divergieren seine Fasern und gehen in den äußeren Umfang des Lig. anulare radii über. Nicht selten sind die dorsalen Anteile des Bandes verstärkt und ziehen über das Lig. anulare radii hinweg direkt zu dessen Anheftungszone an der Ulna bzw. zur Crista m. supinatoris.

Auf Grund seiner Lagebeziehung zur Flexions-/Extensionsachse beteiligt sich der laterale Bandkomplex wenig an der Begrenzung der Flexion und Extension. Nur der dorsale Verstärkungszug wirkt an der Abbremsung der Flexion mit [8, 15, 16].

Das Lig. anulare radii ist etwas ausstrahlend an der Vorderkante der Incisura radialis sowie deren Hinterkante befestigt (Abb. 6) und umgreift die Circumferentia articularis. Die einstrahlenden Fasern des radialen Kollateralbandes treten schräg nach ventral bzw. dorsal in das Band ein und ziehen in inniger Verflechtung ebenfalls bis zu diesen Anheftungsstellen. Die Innenseite des Bandes ist mit Knorpelzellen durchsetzt. Es fixiert das Caput radii an die Incisura radialis und wird auf Grund der geringen Abweichung der Circumferentia articularis von einer exakten Zylinderform in den Extremstellungen der Supination und Pronation jeweils verformt und gespannt. Nach Martin [13, 17] ziehen von seinem vorderen Umfang Fasern nach lateral zur Crista m. supinatoris, die von ihm als Lig. laterale accessorium bezeichnet wurden. Bei Kindern ist das Band lockerer [27], was bei starkem Zug am kindlichen Arm dazu führen kann, daß der Radiuskopf durch die Schlinge des Bandes nach distal gezogen wird.

Periartikuläres Bindegewebe

Neuere tierexperimentelle Untersuchungen haben ergeben, daß das Bindegewebe um das Ellbogengelenk besonders reich an propriozeptiven Rezeptoren ist. Dabei handelt es sich vor allem um Spannungsrezeptoren in den periartikulären, tiefen Muskelfaszien und in die Muskeln einstrahlenden Sehnenplatten, besonders im Bereich des M. supinator. Es liegt die Vermutung nahe, daß die von diesen Rezeptoren ausgehenden afferenten Impulse maßgeblich auf die Steuerung der muskulären Stabilisierung des Gelenkes wirken [34].

Im Bereich des Ansatzes des M. triceps brachii am Olecranon, des Ursprunges des M. anconeus und an

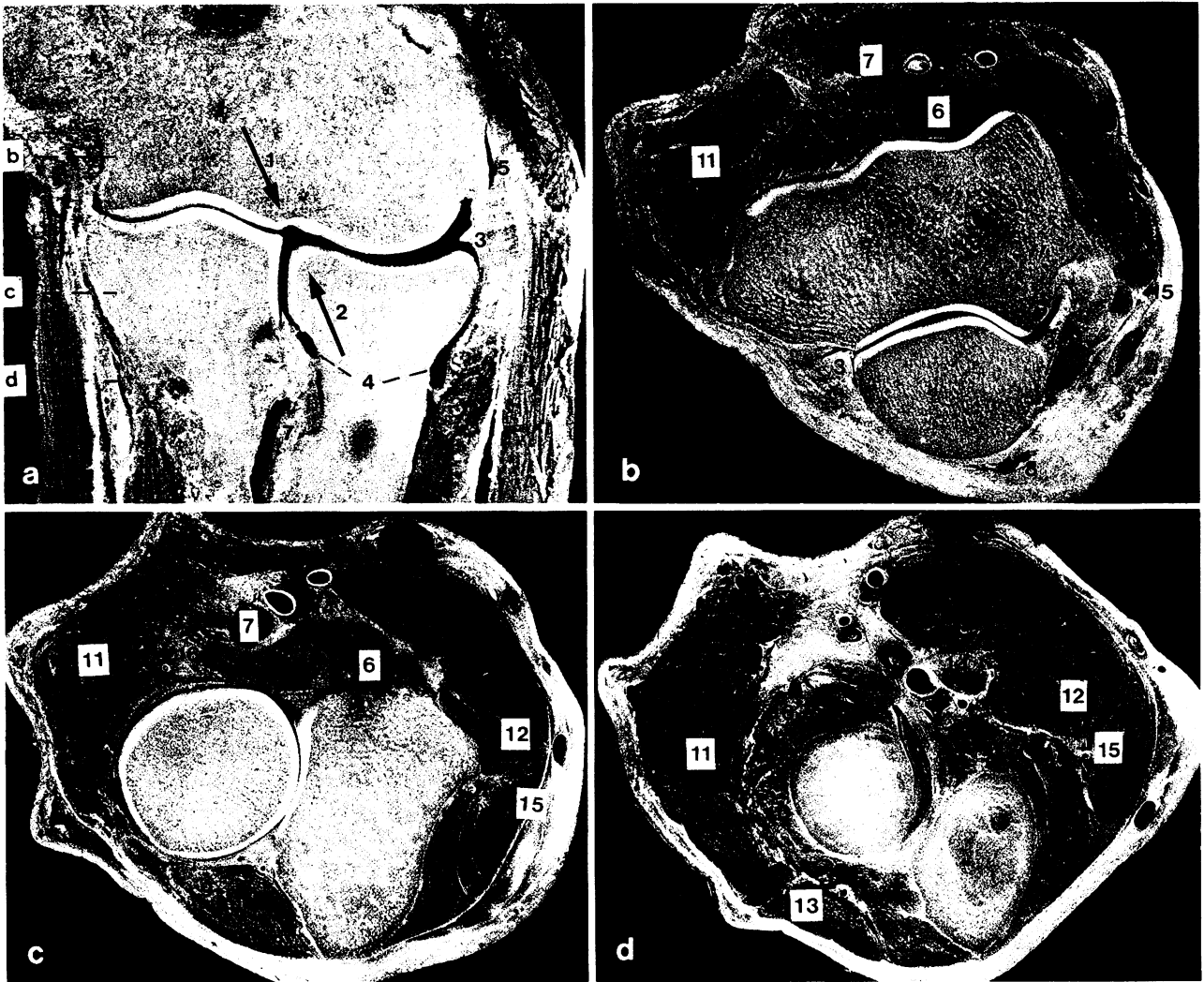


Abb. 9a-d. Querschnittanatomie des Ellbogengelenkes. **a** Frontalschnitt mit Angabe der Schnittebenen. **b-d** Schnitte in verschiedenen Höhen. 1= Radiale Leiste der Trochlea humeri (arthrotisch verändert); 2= medialer Rand des Caput radii (arthrotisch verändert); 3= synoviale Falten; 4= unterer Recessus um das Collum radii; 5= Bursa im Bereich des Epicondylus lateralis; 6= M. brachialis; 7= Sehne des M. biceps brachii; 8= Bursa im Bereich der Sehne des M. triceps brachii; 9= M. anconeus; 10= M. supinator; 11= radiale Muskelgruppe; 12= mediale Muskelgruppe; 13= Extensoren; 14= N. medianus; 15= N. ulnaris; 16= N. radialis; 17= A. brachialis

den beiden Epikondylen sind im Regelfall Bursae synoviales vorhanden (Abb. 7). Besonders sei auf die Bursa unter der Ursprungssehne des M. extensor carpi radialis brevis hingewiesen, die bis auf Höhe des Caput radii nach distal ziehen kann [3, 4, 24, 33, 37]. Schließlich findet sich in Gelenknähe noch die Bursa bicipitoradialis zwischen Tuberculum radii und tiefer Ansatzsehne des M. biceps brachii.

Periartikuläre Topographie

Blutgefäße und Nerven konzentrieren sich am Ellbogengelenk auf die ventrale und mediale Seite (Abb. 8). Die vordere Gefäßnervenstraße des Oberarmes überquert von proximal ulnar den Gelenkbereich zur Mitte der Vorderfläche des Unterarmes. Der N. ulnaris durchbricht allerdings bereits einige Zentimeter oberhalb des Epicondylus medialis das Septum intermusculare mediale nach dorsal, liegt im Sulcus n. ulnaris eng am Knochen und tritt nach distal durch eine Sehnenbrücke unter den M. flexor carpi ulnaris. Auf der lateralen Seite verläuft der N. radialis gemeinsam mit der A. recurrens radialis unter der Faszie zwischen M. brachialis und M. brachioradialis schräg nach distal zur Vorderfläche des Gelenkes. Sein tiefer Ast tritt in den M. supinator ein (sog. „Radialistunnel“), während sich der oberflächliche weiter nach dorsal zu den Extensoren des Unterarmes wendet [25, 33].

Aus diesen topographischen Verhältnissen ergibt sich – abgesehen von besonderen Indikationen –, daß das Gelenk am schonendsten von lateral bzw. dorsal eröffnet werden kann. Je nach Ziel der geplanten Operation kann dabei in Längsrichtung zwischen den lateralen Muskeln eingegangen und vor allem das Caput radii gut erreicht werden. Je weiter dorsal der Zugang gelegt wird, desto weniger ist der tiefe Ast des N. radialis gefährdet [17, 22]. Die Querschnittsdarstellungen vermögen am ehesten einen raschen Überblick über die im engeren Gelenkbereich liegenden Strukturen zu geben (Abb.9). Daraus leitet sich klar ab, daß der vordere und auch der mediale Zugang zum Ellbogengelenk nur in begründeten Ausnahmefällen zu wählen sind. Hier ist vor allem der N. ulnaris, der im Sulcus n. ulnaris meist durch einen queren Sehnenstreifen fixiert liegt, in Gefahr.

Besonders muß darauf hingewiesen werden, daß über die A. recurrens radialis eine kollaterale Verbindung zur A. brachialis besteht [12]. Dies gilt auch für die Muskeläste der A. radialis und der tiefen Venen und sollte für eine fachgerechte Unterbindung zur Vermeidung von Hämatomen beachtet werden.

Biomechanik

Kinematik

Auf den ersten Blick erscheint der Bewegungsablauf im Ellbogengelenk relativ einfach vor sich zu gehen. Genauere Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß für beide Bewegungsabläufe, Flexion-/Extension und Pro-/Supination, ausschließlich instantane Achsen gegeben sind (Abb.5) [15, 16, 28, 36]. Die Flexions-/Extensionsbewegung bezieht sich auf eine quere Achse, die mit einigen Graden Abweichung über den gesamten Bewegungsablauf von ca. 160° der Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte des Capitulum humeri und des Sulcus der Trochlea humeri entspricht.

Durch den Verlauf des Lig. collaterale ulnare wird gewährleistet, daß im Normalfall weder der Proc. coronoideus noch die Spitze des Olecranon in die entsprechenden Fossae hart einrasten [8, 15]. Die Endphase der Flexion wird individuell außerdem durch die Weichteile begrenzt.

Die Achse der Umwendebewegung des Unterarmes zieht durch die Krümmungsmittelpunkte des Caput radii und des Caput ulnae. Die Ulna selbst bleibt während der gesamten Umwendebewegung von insgesamt 170°–175° (Supination 85°–90°, Pronation 85°) relativ in Ruhe. Der Radiuskopf ist mit dem Collum so zur Schaftachse eingestellt, daß es

während der Umwendebewegung nicht zu einem Kippen im Humeroradialgelenk kommt [14].

Die Muskeln des Ellbogengelenks werden üblicherweise in die Gruppen der Flexoren, Extensoren und die radiale Muskelgruppe eingeteilt. Die in der Literatur mehrfach gemachten Versuche [12, 17, 24] einer funktionellen Wertung der Ellbogenmuskulatur mit Hilfe der Elektromyographie und durch Berechnung ergeben vier verschiedene Rangfolgen: Der Hauptmuskel der *Flexion* ist – besonders bei bereits gebeugter Ausgangsstellung – der M. biceps brachii gemeinsam mit dem M. brachialis. Auch der M. brachioradialis erhält mit zunehmender Beugstellung auf Grund des sich dann verlängernden Hebelarmes ein relativ großes Drehmoment. Die drei Köpfe des M. triceps brachii wirken gemeinsam mit dem M. anconeus als *Extensoren*, wobei dem Caput laterale und mediale die Hauptbedeutung zukommt.

Der weitaus überwiegende Hauptmuskel der *Supination* ist auf Grund seiner größeren Masse der M. biceps brachii, gefolgt vom M. supinator [12]. Beide Muskeln ermöglichen die Supination über ihren vollen Ausschlag. Darüberhinaus wirken eine Reihe von Unterarmmuskeln, wie der M. abductor pollicis longus, der M. extensor pollicis longus und der M. brachioradialis, als Supinatoren nur von der Endstellung der Pronation aus bis in eine Mittelstellung. Über den gesamten Weg der *Pronation* aktiv sind der M. pronator teres und der M. pronator quadratus. Der M. flexor carpi radialis longus sowie die radiale Muskelgruppe können auf Grund des Verlaufes ihrer Wirkungslinie zur Drehachse nur von der extremen Supinationsstellung aus als Pronatoren tätig sein.

Nach den Untersuchungen von Werner und Koebeke [38] muß man davon ausgehen, daß die Membrana interossea keine bedeutende Funktion für die Fixation der beiden Unterarmknochen zueinander besitzt. Ebenso wenig soll sie axiale Kräfte vom Radius auf die Ulna übertragen, wie dies eine frühere Vorstellung war. Nach diesen Autoren ist sie vielmehr Muskelursprungsfläche.

Statik

Ausgehend von der Theorie der funktionellen Anpassung der Stützgewebe, wurde vor allem von Pauwels [23] und von Tillmann [32] die Verteilung der subchondralen Mineralisierung sowie die Verteilung der Knorpeldicke dazu benützt, Aussagen über die hauptsächliche Beanspruchung in den einzelnen Bereichen des Ellbogengelenks zu folgern. So ist die Incisura trochlearis gegen ihre begrenzenden Fortsätze hin stärker beansprucht als in der Tiefe (siehe

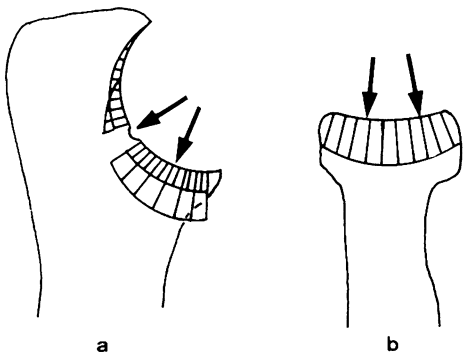


Abb. 10 a und b. Spannungsverteilung im Ellbogengelenk (unter Bezug auf [16, 23, 30, 32]). **a** Superposition zweier Spannungsverteilungen im Humeroulnargelenk entsprechend zwei verschiedenen Verläufen der Resultierenden im Bewegungsablauf zwischen ca. 50° und ca. 150°. **b** Spannungsverteilung im Humeroradialgelenk entsprechend **a**

auch Abb. 2-4). An der Trochlea humeri manifestiert sich diese Beanspruchung in einer stärkeren subchondralen Mineralisierung der ventralen Bereiche. Allerdings weist Tillmann [32] darauf hin, daß einerseits mit zunehmendem Alter, andererseits überhaupt eine große individuelle Streuung der Verteilung besteht. Herzog [9] hat die Vermutung geäußert, daß ein Zusammenhang zwischen der beruflichen Bestätigung und damit bestimmten motorischen Verhaltensmustern und der Materialverteilung im Gelenk bestehe.

Im Zusammenhang mit der in zwei Drittel der Fälle auftretenden queren Unterteilung der knorpeligen Bedeckung der Incisura trochlearis (Abb. 2 und 4) wurde von einigen Autoren die Hypothese geäußert, daß durch eine funktionelle Knorpelschwellung im Humeroulnargelenk eine Inkongruenz auftrete, die zur Entlastung des tiefen Anteiles der Incisura trochlearis führe [21]. Dies würde gut mit den Messungen der Kontaktflächen übereinstimmen, wie sie von einigen Autoren [6, 29, 35] durchgeführt wurden. Bei allen Untersuchungen ergab sich, daß beim Flexions-/Extensionsablauf kein Kontakt in den zentralen Bereichen der Incisura trochlearis vorhanden war.

In besonderer Weise haben sich Pauwels [23] und Morrey [17] mit der Frage der Muskelkräfte im Ellbogengelenk auseinandergesetzt. Ohne hier darauf näher eingehen zu können, ist festzustellen, daß die Verteilung der Kräfte auf die Tragfläche vom Verlauf der Resultierenden abhängt. Diese ist wiederum von den von außen wirkenden Kräften und dem Beugungsgrad abhängig (Abb. 10).

Eigene Untersuchungen an vier Ellbogengelenken ergaben, daß bei individuellen Unterschieden eine relativ größere subchondrale Mineralisierung

im Radiohumeralgelenk zu finden ist (Abb. 4). Da die Fovea capitis und der vordere Anteil der Incisura trochlearis eine jeweils in etwa vergleichbar große Fläche aufweisen, ist daraus abzuleiten, daß das Caput radii im allgemeinen eine stärkere Druckbelastung aufzunehmen hat als der dem Proc. coronoideus zugewandte Anteil der Incisura trochlearis. Dies paßt u. a. gut zu den Untersuchungen von Nicol et al. [19], wonach das Verhältnis der axialen Druckaufnahme im gestreckten Ellbogengelenk etwa zwei zu drei (40% Ulna, 60% Radius) beträgt.

Gelenkstabilität

Wenn das Ellbogengelenk auch auf Grund der knöchernen Führung und seiner festen Bänder als sehr stabiles Gelenk zu bezeichnen ist, so tritt die Frage der Instabilität doch vor allem nach Frakturen auf [17, 26, 36]. Aus dem oben Gesagten ist abzuleiten, daß zur Erhaltung der Stabilität jedenfalls einer der beiden „Pfeiler“ – entweder der Proc. coronoideus oder das Caput radii – in voll belastbarem Zustand notwendig ist. Etwaige operative Kürzungen des Olecranon ergeben in einer linearen Korrelation ebenso eine Abnahme der Stabilität des Gelenkes [17].

Wie sehr Radius und Ulna gemeinsam den Druck aufzunehmen haben, zeigen auch die Untersuchungen von Rohlmann et al. [26] sowie von Amis et al. [1], die nach Radiuskopfresektion eine vielfache Zunahme der Belastung der (bis zum 9fachen des Körpergewichtes) Ulna fanden. Die ligamentäre Sicherung der Stabilität in Streckstellung erfolgt vor allem durch das Lig. collaterale ulnare. Abduktionskräften im Sinne einer Varus-/Valguswirkung stellt ebenfalls der mediale Kapselbandapparat größeren Widerstand entgegen als der laterale. Nach Walker und Jacob [36] besteht für die lateralen Bänder eigentlich nur bei abduktorischer Krafteinwirkung in der Endstellung der Extension Gefahr, da ansonsten in Verstärkung der Beugehaltung ausgewichen wird.

Literatur

1. Amis AA, Dowson D, Wright Y, Miller JH (1979) The deviation of elbow joint forces and their relation to prosthesis design. *J Med Eng Technol* 3: 229-234
2. Benninghoff A, Goertler K (1985) In: Staubesand J (Hrsg) *Lehrbuch der Anatomie des Menschen*, Bd I, 14. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München
3. Briggs CA, Elliott BG (1985) Lateral epicondylitis. A review of structures associated with tennis elbow. *Anat Clin* 7: 149-153
4. Frick H, Leonhardt H, Starck D (1987) *Spezielle Anatomie II*. Thieme, Stuttgart

5. Gardner E (1948) The innervation of the elbow joint. *Anat Rec* 102: 161-174
6. Goel VK, Singh D, Bijlani V (1982) Contact areas in human elbow joints. *J Biomech Eng* 104: 169-175
7. Goodfellow JW, Bullough PG (1967) The pattern of aging of the articular cartilage of the elbow joint. *J Bone Joint Surg [Br]* 49: 175-181
8. Gutierrez LS (1964) A contribution to the study of the limiting factors of elbow extension. *Acta Anat* 56: 146-156
9. Herzog G (1943) Die bewegungsphysiologische Ausnutzung der großen Gliedmaßengelenke des Menschen in Beruf und Alltag und ihre praktische Bedeutung. Thieme, Leipzig
10. Kapandji IA (1984) Funktionelle Anatomie der Gelenke, Bd I. Enke, Stuttgart
11. Kurrat HJ, Oberländer W (1979) Die Knorpeldickenverteilung im proximalen Anteil des Ellenbogengelenkes und ihre Beziehung zur Lage degenerativer Knorpelveränderungen. *Verh Anat Ges* 73: 885-889
12. Lanz/Wachsmuth (1959) Praktische Anatomie, Bd I/3. Der Arm. Springer, Berlin Göttingen Heidelberg
13. Martin BF (1958) The annular ligament of the superior radio-ulnar joint. *J Anat* 92: 473-481
14. Mayr R, Pretterklieber M, Reichel M (im Druck) Zur Biomechanik der Articulatio humeroradialis (Abstract). *Morphol Jahrb*
15. Morrey BF, Chao EYS (1976) Passive motion of the elbow joint. *J Bone Joint Surg [Am]* 58: 501-508
16. Morrey BF, An KN (1985) Functional anatomy of the ligaments of the elbow. *Clin Orthop* 201: 84-90
17. Morrey BF (1985) The elbow and its disorders. Saunders, Philadelphia
18. Müller-Gerbl M, Schulte E, Putz R (1987) The thickness of the calcified layer of articular cartilage: A function of load supported. *J Anat* 154: 103-111
19. Nicol AC, Berme N, Paul JP (1977) A biomechanical analysis of elbow joint function. In: Joint replacement in the upper Limb. Institute of Mechanical Engineers, London
20. Oberländer W, Kurrat HJ (1979) Die Knorpeldickenverteilung im distalen Anteil des Ellenbogengelenkes und ihre Beziehung zur Lage degenerativer Knorpelveränderungen. *Verh Anat Ges* 73: 891-895
21. Oberländer W, Breul R, Kurrat HJ (1984) Die Querfurche des Ellenbogengelenkes. Eine biomechanische Deutung ihrer Entstehung. *Z Orthop* 122: 682-685
22. Pankovich AM (1977) Anconeus approach to the elbow joint and the proximal part of the radius and ulna. *J Bone Joint Surg [Am]* 59: 124-126
23. Pauwels F (1963) Die Druckverteilung im Ellenbogengelenk, nebst grundsätzlichen Bemerkungen über den Gelenkdruck. *Z Anat Entwickl Gesch* 123: 643-667
24. Platzer W, Leonhardt H, Kahle W (1985) Taschenatlas der Anatomie. Thieme, Stuttgart
25. Ritts GD, Wood MB, Linscheid RL (1987) Radial tunnel syndrome. *Clin Orthop* 219: 201-205
26. Rohlmann A, Basli K, Bergmann G (1986) Spannungsanalyse des Ellbogengelenkes vor und nach Radiuskopf-Resektion. *Biomed Tech (Berlin)* 31: 230-239
27. Schmit-Neuerburg KP (1982) Biomechanik des Ellbogens. *Hefte Unfallheilkd* 155: 1-13
28. Schwab GH, Bennet JB, Woods GW, Tullos HS (1980) Biomechanics of elbow instability: The role of the medial collateral ligament. *Clin Orthop* 146: 42-52
29. Stormont TJ, An KN, Morrey BF, Chao EY (1985) Elbow joint contact study: comparison of techniques. *J Biomech* 18: 329-336
30. Tillmann B (1971) Die Beanspruchung des menschlichen Ellenbogengelenkes I. *Z Anat Entwickl Gesch* 128: 329-349
31. Tillmann B (1978) Entwicklung und funktionelle Anatomie des Ellenbogengelenkes. *Z Orthop* 116: 392-400
32. Tillmann B (1978) A contribution to the functional morphology of articular surfaces. In: Bargmann W, Doerr W (Hrsg) Normale und Pathologische Anatomie, Bd 34. Thieme, Stuttgart
33. Thomas W, Tillmann B (1980) Engpaßsyndrome des Nervus radialis im Ellenbogenbereich im Rahmen der Epicondylitis humeri radialis - klinisch-anatomische Untersuchungen. *Z Orthop* 118: 41-46
34. Wal van der JC, Strasman T, Drukker J, Halata Z (1987) The occurrence of sensory nerve endings in the lateral cubital region of the rat in relation to the architecture of the connective tissue (Abstract). *Acta Anat* 130: 94
35. Walker PS (1977) Human joints and their artificial replacement. Thomas, Springfield
36. Walker N, Jacob HAC (1981) Biomechanische Untersuchungen am Ellenbogengelenk. *Orthopäde* 10: 253-255
37. Wanivenhaus A (1986) Differentialdiagnose der Epicondylitis Humeri Radialis. *Z Orthop* 124: 775-779
38. Werner JA, Koebe J (1987) The function of the antebrachial interosseus membrane. *Anat Embryol* 176: 127-131

Prof. Dr. R. Putz
 Anatomisches Institut
 Lehrstuhl III
 Albertstraße 17
 D-7800 Freiburg i. Br.