

Lehrbuch Orthopädie

Mit Beiträgen von

H.-M. Mayer, H. Mellerowicz,
B. D. Partecke, M. Sparmann,
U. Weber, R. Wolff,
E. Zapfe und H. Zilch

Lehrbuch

Orthopädie

mit Repetitorium

Herausgegeben von H. Zilch und U. Weber



Walter de Gruyter
Berlin · New York 1989

Prof. Dr. med. H. Zilch
Chefarzt der Klinik für
Unfall-, Wiederherstellungs- und Handchirurgie
des Krankenhauses Goslar
Kösliner Str. 12
D-3380 Goslar

Prof. Dr. med. U. Weber
Ärztlicher Direktor der
Orthopädischen Klinik und
Poliklinik der Freien
Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229
D-1000 Berlin 33

Dieses Buch enthält 259 Abbildungen und 14 Tabellen

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Lehrbuch Orthopädie: mit Repetitorium / hrsg. von H. Zilch u. U. Weber
[Mit Beitr. von H.-M. Mayer ...]. = Berlin ; New York : de Gruyter, 1988
ISBN 3-11-010766-X
NE: Zilch, Hans [Hrsg.]

© Copyright 1988 by Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin 30. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen und dergleichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß solche Namen ohne weiteres von jedermann benutzt werden dürfen. Vielmehr handelt es sich häufig um gesetzlich geschützte, eingetragene Warenzeichen, auch wenn sie nicht eigens als solche gekennzeichnet sind.

Didaktisches Konzept: Dr. U. Herzfeld, Gaiberg

Zeichnungen: H. R. Giering-Jänsch, Berlin

Umschlagentwurf: Rudolf Hübler, Berlin

Satz: INTERDRUCK, Leipzig

Druck: Appl, Wemding

Bindung: Lüderitz & Bauer GmbH, Berlin

Vorwort

Das vorliegende Buch stellt ein modernen Gesichtspunkten der Orthopädie Rechnung tragendes Lehrbuch mit Repetitorium für den Studenten dar. Es ist aber weit mehr. Die Art der Wiedergabe von Problemen des orthopädischen Alltags mit Beleuchtung des wissenschaftlichen Hintergrundes wendet sich zugleich an den jungen in Weiterbildung befindlichen Assistenzarzt. Er findet hier die für seine praktische Arbeit notwendigen Grundlagen ohne größere Abstecher in theoretische Erörterungen oder abweichende Lehrmeinungen.

Zwei Autoren haben sich zusammengefunden, die außer ihrer fachlichen Kompetenz als Orthopäden auch über die Qualifikation eines Arztes für Chirurgie verfügen. So wird es selbstverständlich, daß auch die traumatischen Probleme der Bewegungsorgane nicht zu kurz kommen. Darüber hinaus wird der Leser mit den Problemen der plastischen und Wiederherstellungschirurgie vertraut gemacht, soweit sie als fester Bestandteil historisch in der Orthopädie zur Entwicklung gelangt sind. Auch neuere Aufgaben der Orthopädie wie die Sportmedizin finden in dem Lehrbuch ihren Niederschlag.

So präsentiert das neue Buch den gegenwärtigen Stand unseres Faches. In klarer Sprache und übersichtlicher Form zur Darstellung gebracht, kann dieses Lehrbuch als eine wertvolle Bereicherung der orthopädischen Literatur betrachtet werden. Man darf seiner raschen Verbreitung sicher sein.

Berlin, Frühjahr 1988

Günter Friedebold

Anschriftenverzeichnis der Autoren

MAYER, H.-M., Dr. med.

Neurochirurgische/Neurologische Klinik im
Klinikum Steglitz der Freien Universität Berlin,
Hindenburgdamm 30, D-1000 Berlin 45

MELLEROWICZ, H., Dr. med.

Orthopädische Klinik und Poliklinik der
Freien Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229, D-1000 Berlin 33

PARTECKE, B.-D., Dr. med.

Handchirurgische Abteilung der Berufsgenossenschaft-
lichen Unfallklinik,
Bergedorfer Str. 10, D-2050 Hamburg 80

SPARMANN, M., Priv. Doz. Dr. med.

Orthopädische Klinik und Poliklinik der
Freien Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229, D-1000 Berlin 33

WEBER, U., Prof. Dr. med.

Orthopädische Klinik und Poliklinik der
Freien Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229, D-1000 Berlin 33

WOLFF, R., Dr. med.

Orthopädische Klinik und Poliklinik der
Freien Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229, D-1000 Berlin 33

ZAPFE, E., Dr. med.

Orthopädische Klinik und Poliklinik der
Freien Universität Berlin, Oskar-Helene-Heim,
Clayallee 229, D-1000 Berlin 33

ZILCH, H., Prof. Dr. med.

Klinik für Unfall-, Wiederherstellungs- und
Handchirurgie im Kreiskrankenhaus Goslar,
Kösliner Str. 12, D-3380 Goslar

Kurzinhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Orthopädie	1
1.1	Wesen und Aufgabe der Orthopädie	1
1.2	Entstehungsursachen orthopädischer Erkrankungen	3
1.3	Allgemeine Untersuchungstechniken	5
1.4	Haltung des Menschen	17
1.5	Ganganalysen	19
1.6	Biomechanik	21
1.7	Behandlungsmethoden	28
1.8	Normale und gestörte Knochenheilung	49
2	Allgemeine klinische Orthopädie	59
2.1	Angeborene Systemerkrankungen	59
2.2	Metabolische, endokrine und ernährungsbedingte Störungen	86
2.3	Mißbildungen	107
2.4	Tumoren	111
2.5	Osteochondronekrosen	156
2.6	Entzündungen	172
2.7	Degenerative Erkrankungen	205
2.8	Sportmedizin	233
2.9	Periphere Gefäßerkrankungen	249
2.10	Neuromuskuläre Erkrankungen	253
2.11	Differentialdiagnose der Kontrakturen	286
3	Regionale klinische Orthopädie	291
3.1	Hals	291
3.2	Thorax	293
3.3	Wirbelsäule	296
3.4	Schulter	352
3.5	Ellenbogengelenk	367
3.6	Hand	374
3.7	Hüftgelenk	395
3.8	Kniegelenk und Unterschenkel	432
3.9	Fuß	467

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Orthopädie	1
1.1	Wesen und Aufgaben der Orthopädie (R. Wolff)	1
1.2	Entstehungsursachen orthopädischer Erkrankungen (R. Wolff)	3
1.3	Allgemeine Untersuchungstechniken (R. Wolff, H. Zilch)	5
1.3.1	Allgemeinzustand	6
1.3.2	Untersuchung im Stehen	6
1.3.3	Inspektion, Palpation, Prüfung der Muskelkraft	6
1.3.4	Summarische Funktionsprüfung	7
1.3.5	Bewegungsprüfung	7
1.3.6	Neurologische Untersuchung	8
1.3.7	Röntgenuntersuchung	12
1.3.8	Kernspin(resonanz)tomographie (MRT)	15
1.3.9	Ultraschalluntersuchungen	15
1.3.10	Arthroskopie	15
1.3.11	Myelographie	16
1.3.12	Arthrographie	16
1.3.13	Szintigraphie	16
1.3.14	Elektromyographie	16
1.3.15	Laboruntersuchungen	17
1.4	Haltung des Menschen (R. Wolff, H. Zilch)	17
1.5	Ganganalysen (R. Wolff)	19
1.6	Biomechanik (R. Wolff)	21
1.7	Behandlungsmethoden (R. Wolff, H. Zilch)	28
1.7.1	Medikamente	28
1.7.2	Verbände	30
1.7.3	Physikalisch-krankengymnastische Therapie, Beschäftigungstherapie	31
1.7.4	Grundzüge der operativen Behandlung	33
1.7.5	Technische Orthopädie	38
1.7.6	Amputation, Prothesenversorgung	44
1.7.7	Rehabilitation	48
1.8	Normale und gestörte Knochenheilung (R. Wolff)	49
1.8.1	Primärheilung	49
1.8.2	Sekundärheilung	51
1.8.3	Knochenheilungszeiten, Frakturbehandlung	52
1.8.4	Komplikationen nach Unfällen	54
1.8.4.1	Pseudarthrosen	54
1.8.4.2	Achsenfehlstellungen	55
1.8.4.3	Gelenkschäden	56

2	Allgemeine klinische Orthopädie	59
2.1	Angeborene Systemerkrankungen (H. Mellerowicz)	59
2.1.1	Konstitutionelle Knochenerkrankungen	59
2.1.1.1	Achondroplasie	62
2.1.1.2	Dysostosis cleidocranialis	66
2.1.1.3	Enchondromatose (Morbus Ollier, Mafucci-Syndrom)	67
2.1.1.4	Multiple kartilaginäre Exostosen	69
2.1.1.5	Fibröse Dysplasie (Jaffé-Lichtenstein- und McCune-Albright-Syndrom)	70
2.1.1.6	Osteogenesis imperfecta	72
2.1.1.7	Osteopetrosis	74
2.1.1.8	Apert-Syndrom	76
2.1.1.9	Klippel-Feil-Syndrom und Sprengel-Deformität	77
2.1.1.10	Marfan-Syndrom	79
2.1.1.11	Partieller Riesenwuchs	80
2.1.1.12	Klippel-Trenaunay-Syndrom	81
2.1.1.13	Mongolismus	81
2.1.1.14	Ullrich-Turner-Syndrom	82
2.1.2	Konstitutionelle Gelenkerkrankungen	82
2.1.2.1	Arthrogryposis multiplex congenita	82
2.1.2.2	Pterygium (Flügelfell-Syndrom)	84
2.1.2.3	Österreicher-Syndrom	84
2.1.2.4	Larsen-Syndrom	85
2.2	Metabolische, endokrine und ernährungsbedingte Störungen (H. Zilch, M. Sparmann, H. Mellerowicz)	86
2.2.1	Knochen und Mineralstoffwechsel	86
2.2.2	Rachitis	88
2.2.3	Osteomalazie	90
2.2.4	Hyperparathyreoidismus (HPT)	92
2.2.5	Osteoporosen	93
2.2.6	Osteodystrophia deformans Paget	95
2.2.7	Gicht	97
2.2.8	Chondrokalzinose	100
2.2.9	Ochronose	101
2.2.10	Xanthomatosen	102
2.2.11	Hämochromatose	102
2.2.12	Morbus Wilson	103
2.2.13	Amyloidose	103
2.2.14	Mukopolysaccharidosen	103
2.2.15	Diabetes mellitus	106
2.2.16	Hypothyreose	106
2.2.17	Weitere endokrine Erkrankungen	107
2.3	Mißbildungen (M. Sparmann)	107
2.4	Tumoren (U. Weber)	111
2.4.1	Knochentumoren	111
2.4.1.1	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen des Knochengewebes	117
2.4.1.2	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen des Knorpelgewebes	120
2.4.1.3	Fibromatöse Geschwülste	125
2.4.1.4	Vom Knochenmarkgewebe ausgehende Geschwülste	126
2.4.1.5	Angiogene, neurogene, myogene und lipogene Geschwülste	128
2.4.1.6	Chordom	128
2.4.1.7	Geschwülste unklarer Histogenese	129

2.4.1.8	Knochenmetastasen	134
2.4.2	Weichteiltumoren	135
2.4.2.1	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen des Bindegewebes	142
2.4.2.2	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen des Fettgewebes	145
2.4.2.3	Naevi und Neubildungen des Muskelgewebes	146
2.4.2.4	Naevi und Neubildungen der Blutgefäße	147
2.4.2.5	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen der Lymphgefäße	151
2.4.2.6	Tumoren des synovialen Gewebes	152
2.4.2.7	Tumoren und tumorähnliche Veränderungen des peripheren Nervengewebes	152
2.4.2.8	Tumoren sympathischer Ganglien	153
2.4.2.9	Weichteiltumoren unsicherer Histogenese	154
2.4.2.10	Veränderungen der Weichteile mit Ähnlichkeit zu echten Neoplasien	155
2.5	Osteochondronekrosen (U. Weber)	156
2.5.1	Grundlegendes	156
2.5.2	Häufige juvenile spontane Osteochondronekrosen	160
2.5.2.1	Morbus Perthes	160
2.5.2.2	Morbus Köhler	160
2.5.2.3	Köhler-Freiberg-Krankheit	161
2.5.3	Osteochondrosis dissecans	161
2.5.4	Osteochondronekrosen des Erwachsenen	164
2.5.4.1	Idiopathische Hüftkopfnekrose	164
2.5.4.2	Femurkondylennekrose (Morbus Ahlbäck)	164
2.5.4.3	Oberarmkopfnekrose	165
2.5.4.4	Lunatummalazie	165
2.5.4.5	Morbus Preiser	166
2.5.4.6	Kümmell-Verneuil-Erkrankung	167
2.5.5	Fragliche juvenile Osteochondronekrosen	167
2.5.5.1	Morbus Panner	167
2.5.6	Osteochondrose simulierende Erkrankungen	168
2.5.6.1	Adoleszentenkyphose	169
2.5.6.2	Vertebra plana	169
2.5.6.3	Sinding-Larsen-Johansson-Syndrom	170
2.5.6.4	Apophysitis der Tuberositas tibiae	170
2.5.6.5	Morbus Blount	171
2.5.6.6	Apophysitis calcanei	171
2.6	Entzündungen (U. Weber)	172
2.6.1	Akute hämatogene Osteomyelitis	173
2.6.1.1	Hämatogene Osteomyelitis im Kindesalter	173
2.6.1.2	Primär chronische Osteomyelitis	177
2.6.1.3	Plasmazelluläre Osteomyelitis	177
2.6.1.4	Sklerosierende Osteomyelitis Garré	177
2.6.1.5	Brodieabszeß	177
2.6.2	Sekundär-chronische endogene Osteomyelitis	178
2.6.3	Lokalisatorische Sonderform der Osteomyelitis: Spondylitis	178
2.6.4	Spezifische Knocheninfektionen	180
2.6.4.1	Tuberkulöse Osteomyelitis	180
2.6.4.2	Andere, seltene spezifische Osteomyelitiden	181
2.6.5	Exogene Osteomyelitis	181
2.6.5.1	Akute exogene Osteomyelitis	183
2.6.5.2	Sekundär-chronische exogene Osteomyelitis	184
2.6.6	Arthritis	185

2.6.7	Bakterielle Arthritiden	187
2.6.7.1	Unspezifische bakterielle Arthritis	187
2.6.7.2	Sonderformen bakterieller Arthritiden	188
2.6.7.3	Arthritis urica und Chondrokalzinose	189
2.6.7.4	Reaktive Arthritiden	189
2.6.8	Chronische Polyarthritiden (cP)	192
2.6.9	Juvenile chronische Arthritis	199
2.6.10	Arthritis psoriatica	200
2.6.11	Arthritis bei Spondylitis ankylosans	201
2.6.12	Arthritis bei Kollagenosen	202
2.6.13	Unspezifische bakterielle Infektionen	202
2.6.14	Spezifische Entzündungen der Sehnenscheiden	203
2.6.15	Rheumatische Entzündungen des Sehnengleitgewebes	203
2.6.16	Entzündliche Erkrankungen des Sehnengleitgewebes durch Überlastung	204
2.6.16.1	Paratenonitis crepitans	204
2.6.16.2	Stenosierende Sehnenscheidenentzündungen	204
2.7.	Degenerative Erkrankungen (H. Zilch)	205
2.7.1	Gelenke	205
2.7.1.1	Arthrosis deformans – Osteoarthrose	205
2.7.1.2	Neuropathische Arthropathien	227
2.7.1.3	Gelenkchondromatose	229
2.7.1.4	Blutergelenk	230
2.7.2	Sehnenrupturen	231
2.7.2.1	Achillessehnenruptur	231
2.7.2.2	Bizepssehnenriß	233
2.7.2.3	Quadrizepssehnenriß	233
2.8	Sportmedizin (R. Wolff)	233
2.8.1	Sportschäden – Sportverletzungen	233
2.8.2	Schäden im Bereich der Muskulatur	237
2.8.3	Schäden am Knorpel	238
2.8.4	Schäden im Bereich der Sehnen	238
2.8.5	Schäden am Knochen	240
2.8.6	Spezielle Lokalisationen von Sportschäden und Überlastungserscheinungen	244
2.8.7	Maßnahmen zur Prophylaxe von Sportschäden	246
2.8.8	Rehabilitation	248
2.9	Periphere Gefäßerkrankungen (H. Zilch)	249
2.9.1	Chronisch arterielle Verschlusskrankheit (AVK)	249
2.9.2	Erkrankungen der Venen	250
2.9.2.1	Varikosis	250
2.9.2.2	Akute Beinvenenthrombose	251
2.9.2.3	Postthrombotisches Syndrom	252
2.9.2.4	Dysplasien der Venen	253
2.10	Neuromuskuläre Erkrankungen (H. M. Mayer, M. Sparmann, H. Zilch, B. P. Partecke)	253
2.10.1	Zerebralparese	253
2.10.2	Dysraphische Fehlbildungen	257
2.10.3	Progressive spinale Muskelatrophie (PSM)/Myatrophische Lateralsklerose (MLS)	260
2.10.4	Progressive Muskeldystrophie	261
2.10.5	Poliomyelitis acuta anterior	262
2.10.6	Querschnittslähmungen	264
2.10.7	Neurofibromatose	267
2.10.8	Lähmung peripherer Nerven	268

2.10.8.1	Nervenverletzungen	268
2.10.8.2	Lähmungen an der oberen Extremität	269
2.10.8.3	Lähmungen an der unteren Extremität	274
2.10.9	Nerven-Engpaß-Syndrome	275
2.10.10	Kompartment-Syndrom (KS)	279
2.10.11	Sudeck-Syndrom	283
2.11	Differentialdiagnose der Kontrakturen (<i>H. Zilch, M. Sparmann</i>)	286
3	Regionale klinische Orthopädie	291
3.1	Hals (<i>H. Zilch</i>)	291
3.1.1	Schiefhals	291
3.1.2	Klavikuladefekte	293
3.1.3	Halsrippe, Skalenussyndrom	293
3.1.4	Klippel-Feil-Syndrom und Sprengel-Deformität	293
3.2	Thorax (<i>H. Zilch</i>)	293
3.2.1	Trichterbrust	293
3.2.2	Kielbrust	295
3.2.3	Tietze-Syndrom	296
3.3	Wirbelsäule (<i>E. Zapfe, H. Zilch</i>)	296
3.3.1	Entwicklungsgeschichte, funktionelle Anatomie	296
3.3.2	Angeborene Fehlbildungen und Varianten	299
3.3.3	Untersuchungstechniken	301
3.3.4	Degenerative Veränderungen	304
3.3.5	Strukturelle Skoliosen	317
3.3.6	Skoliotische Fehlhaltungen	329
3.3.7	Kyphose	330
3.3.7.1	Adoleszentenkyphose	330
3.3.7.2	Kyphosen anderer Genese	333
3.3.8	Spondylitis ankylosans (Sp. a.)	334
3.3.9	Spondylyolyse, Spondylolisthesis	339
3.3.10	Unspezifische Entzündung	342
3.3.11	Spondylitis tuberculosa	343
3.3.12	Destruktionen durch Tumoren und Metastasen	346
3.3.13	Traumatologie	347
3.4	Schulter (<i>H. Zilch</i>)	352
3.4.1	Funktionelle Anatomie	352
3.4.2	Biomechanik	353
3.4.3	Untersuchungstechniken	355
3.4.4	Habituelle Schulterluxation (HSL)	356
3.4.5	Periarthropathia humeroscapularis (PHS)	359
3.4.5.1	Supraspinatussehnen-Syndrom	359
3.4.5.2	Ruptur der Rotatorenmanschette	360
3.4.5.3	Tendinitis calcarea	361
3.4.5.4	Schmerzhafte Schultersteife	362
3.4.6	Arthrosen	363
3.4.7	Differentialdiagnose des Schulterschmerzes	363
3.4.8	Traumatologie	364
3.4.8.1	Schultergelenkverrenkung	364
3.4.8.2	Subkapitale Humerusfraktur	365
3.4.8.3	Luxatio acromioclavicularis	366
3.4.8.4	Luxatio sternoclavicularis	367
3.4.9	Begutachtung	367

3.5	Ellenbogengelenk (M. Sparmann, H. Zilch)	367
3.5.1	Radioulnare Synostosen	367
3.5.2	Arthrose, Arthritis und Kontrakturen des Ellenbogengelenkes	368
3.5.3	Osteochondrosis dissecans und Chondromatose	369
3.5.4	Epicondylitis humeri radialis und ulnaris	370
3.5.5	Bursitis olecrani	371
3.5.6	Frakturen und Luxationen	371
3.5.6.1	Ellenbogengelenkverrenkung	371
3.5.6.2	Verrenkung des Radiusköpfchens	372
3.5.6.3	Distale Humerusfrakturen	373
3.5.6.4	Olekranonfraktur	373
3.6	Hand (B. P. Partecke)	374
3.6.1	Untersuchungstechniken	374
3.6.2	Dupuytren-Kontraktur	376
3.6.3	Ganglion	378
3.6.4	Schnellender Finger	379
3.6.5	Tendovaginitis stenosans De Quervain	379
3.6.6	Chronische Polyarthritits	380
3.6.7	Arthrosen	381
3.6.8	In Fehlstellung verheilte Radiusfrakturen	383
3.6.9	Kahnbeinpseudarthrose	384
3.6.10	Mondbeinnekrose	386
3.6.11	Sekundäre Beugesehnenwiederherstellung	388
3.6.12	Rekonstruktive Maßnahmen nach Daumenverlust	389
3.6.13	Angeborene Fehlbildungen der Hand	390
3.7	Hüftgelenk (E. Zapfe, H. Zilch, M. Sparmann)	395
3.7.1	Entwicklung und Untersuchung	395
3.7.2	Hüftluxation – Dysplasia coxae congenita	395
3.7.3	Schenkelhalsdeformitäten	409
3.7.3.1	Coxa valga	409
3.7.3.2	Coxa vara	411
3.7.3.3	Innenrotationsgang	412
3.7.4	Veränderungen am Hüftkopf	413
3.7.4.1	Kopfaufbaustörung	413
3.7.4.2	Kindliche Hüftkopfnekrose	413
3.7.4.3	Morbus Perthes	414
3.7.5	Coxitis fugax	417
3.7.6	Epiphysiolysis capitis femoris	417
3.7.7	Coxa saltans	420
3.7.8	Protrusio acetabuli	420
3.7.9	Koxarthrose	421
3.7.10	Idiopathische Hüftkopfnekrose	428
3.7.11	Traumatologie	430
3.7.12	Begutachtung	432
3.8	Kniegelenk und Unterschenkel (E. Zapfe, H. Zilch)	432
3.8.1	Funktionelle Anatomie und Biomechanik	432
3.8.2	Untersuchungstechniken	434
3.8.3	Kniegelenkerguß	435
3.8.4	Habituelle Patellaluxation	436
3.8.5	Achsenabweichungen der unteren Extremität	438
3.8.5.1	Genu valgum	439
3.8.5.2	Genu varum	441
3.8.5.3	Genu recurvatum	442
3.8.6	Torsionsfehler am Unterschenkel	443
3.8.7	Beinlängendifferenzen	443
3.8.8	Crus valgum postero-mediale	447

3.8.9	Crus varum congenitum – angeborene Tibiapseudarthrose	448
3.8.10	Tibiahypoplasie – Tibiaaplasie	449
3.8.11	Angeborener Fibuladefekt	450
3.8.12	Psychogener Knieschmerz im Kindesalter	451
3.8.13	Meniskusläsion und Meniskusriß	452
3.8.14	Chondromalacia patellae	456
3.8.15	Gonarthrose	458
3.8.16	Traumatologie	461
3.8.17	Begutachtung	467
3.9	Fuß (M. Sparmann, H. Zilch)	467
3.9.1	Anatomische und funktionelle Gesichtspunkte	467
3.9.2	Kongenitaler Klumpfuß	468
3.9.3	Sichelfuß	469
3.9.4	Hackenfuß	469
3.9.5	Hohlfuß	470
3.9.6	Angeborener Plattfuß	471
3.9.7	Erworbener Plattfuß	472
3.9.8	Spreizfuß	473
3.9.9	Hallux valgus	473
3.9.10	Hammer- und Krallenzehe	475
3.9.11	Mißbildungen	475
3.9.12	Akzessorische Knochenelemente am Fuß	476
3.9.13	Haglund-Exostose	476
3.9.14	Hinterer unterer Fersensporn	476
3.9.15	Arthrosen	477
3.9.16	Luxationsfrakturen des oberen Sprunggelenkes	477
3.9.17	Bandverletzungen des oberen Sprunggelenkes	478
3.9.18	Habituelle Peronealsehnentluxation	479
Literatur	481	
Sachwortverzeichnis	483	

1 Allgemeine Orthopädie

1.1 Wesen und Aufgaben der Orthopädie

R. Wolff

Patienten, die einen Orthopäden aufsuchen, klagen über

- Schmerzen im Bereich des Bewegungsapparates (Koxarthrose, Lumbalgie),
- Formabweichungen (Skoliose, Klumpfuß, Genua vara) oder
- Funktionsverlust (Lähmungen, z. B. nach Poliomyelitis).

Die Ursache der Beschwerden ist durch eingehende Diagnostik zu erforschen und zu behandeln. Eine kausale Therapie ist auch heute bei vielen Krankheitsbildern nicht möglich: Endoprothesen, Muskelplastiken und Medikamente beseitigen letztlich nur Symptome und schließen auch Risiken ein (Infektion nach operativen Eingriffen, Prothesenlockerung, Nebenwirkung von Medikamenten).

Die rechtzeitige Diagnose von Formabweichungen und Fehlbildungen im frühen Säuglings- und Kindesalter ermöglicht es vielfach, in den weiteren Wachstums- und Entwicklungsprozeß steuernd einzugreifen – eine der fruchtbarsten und oft auch schwierigsten Aufgaben der Orthopädie (z. B. Spreizhose und Pavlik-Bandage zur Behandlung der Hüftdysplasie bzw. -subluxation; Epiphyseodese bei Achsenabweichungen; Korsettversorgung bei Skoliose). Durch Lagerungsschienen und Bewegungsübungen lassen sich Gelenkkontrakturen in Fehlstellung nach Lähmungen verhindern, was die Voraussetzung für spätere plastische Maßnahmen ist.

Durch regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen sind hochstehende Hüftluxationen und schwere Skoliose im deutschsprachigen Raum selten geworden: der klinische Verdacht auf eine Hüftluxation läßt sich bereits kurz nach der Geburt durch Ultraschalluntersuchungen – also ohne Strahlenbelastung – verifizieren.

Der Begriff „Orthopädie“ (orthos = gerade; pais = Kind) wurde Mitte des 18. Jahrhunderts von Nicolas Andry geprägt, ebenso das Symbol des gekrümmten Bäumchens, das an einen geraden Stab gebunden ist. Es veranschaulicht, wie einem verkrüppelten Stamm – oder einem Kind mit Fehlbildungen – durch gezielten Einsatz äußerer Kräfte zu geradem Wachstum verholfen werden kann (Abb. 1).

Zum Aufgabengebiet der Orthopädie gehört ferner die Rehabilitation, d. h. die möglichst weitgehende Wiedereingliederung von Patienten nach Verletzungen, sowie die Einschätzung der verbliebenen Erwerbs- und Arbeitsfähigkeit.

Viele Erkrankungen – wie Rachitis, Tuberkulose, Poliomyelitis – haben durch bessere Ernährung und Schutzimpfungen an Bedeutung verloren. Kinder mit Spina bifida und Zerebralparese überleben dagegen heute länger und stellen hohe Anforderungen an den Orthopäden. Wegen der höheren Lebenserwartung nehmen degenerative Gelenkerkrankungen (Koxarthrose, Gonarthrose) und Folgen der Osteoporose (Wirbelkörper- und Schenkelhalsfrak-

1 Allgemeine Orthopädie

Orthopädie

Behandlung von Erkrankungen und Verletzungen des Bewegungsapparates.

Zum Orthopäden führen

- Schmerz,
- Formabweichung,
- Funktionsverlust.

Präventive Orthopädie

frühe Diagnose
→ Wachstumssteuerung.

Rehabilitation

Rachitis
Tbc
Polio

degenerative Gelenkerkrankungen
Arbeitsunfälle
Mißbildungen

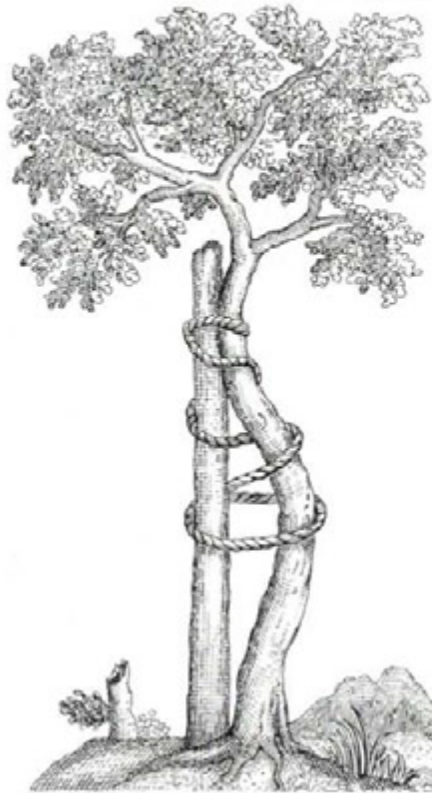


Abb. 1
Symbol orthopädischen Handelns

Fortschritte in der Orthopädie

in **Diagnostik:**

- Computertomographie,
- Kernspinnresonanztomographie,
- Ultraschall,

in **Therapie:**

- Mikrochirurgie,
- Endoprothetik,
- Osteosynthese,
- Tumortherapie,
- Chemonukleolyse.

turen) zu. Schwere Arbeitsunfälle verlangen oft aufwendige und langdauernde rekonstruktive Maßnahmen.

Die Orthopädie verdankt ihre zunehmende Bedeutung in den letzten Jahren wesentlich den Fortschritten auf den Gebieten der

- Mikrochirurgie (Replantation von Gliedmaßen, Übertragung von vaskularisiertem Knochenspan und vaskularisierten Muskel-Hautlappen),
- Diagnostik (Arthrographie, Computertomographie, Kernspinnresonanztomographie, Szintigraphie, Ultraschalluntersuchung),
- Biomechanik,
- Endoprothetik (Hüft- und Knieprothesen haben nach 10 Jahren eine Erfolgsquote von 80–90 %),
- Tumortherapie (gliederrhaltende Chirurgie, Chemotherapie),
- prothetischen Versorgung (myoelektrische Prothesen),
- Frakturbehandlung (nach Richtlinien der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese – AO),
- Chemonukleolyse bei Bandscheibenprotrusion.

Übertragungen von homologen Gelenken, homologem Knorpel, Eingriffe im Bereich der Epiphysenfugen sowie verschiedene Verfahren der Elektrostimulation zur Beschleunigung der Frakturheilung und Therapie von Pseudarthrosen gehören noch weitgehend dem experimentellen Stadium an, eine endgültige Wertung ist bisher nicht möglich.

1.2 Entstehungsursachen orthopädischer Erkrankungen

R. Wolff

Häufige Ursachen orthopädischer Erkrankungen sind:

- Verletzungen,
- angeborene Fehlbildungen und Systemerkrankungen,
- Überbelastungen, degenerative Veränderungen,
- Entzündungen,
- neurogene Funktionsstörungen,
- systematische Erkrankungen, Stoffwechselstörungen, hormonelle Störungen, Autoimmunerkrankungen (Rachitis, Gicht, rheumatische Erkrankungen) und
- Gewebeneubildungen (Tumor).

Die Ätiologie vieler Erkrankungen läßt sich mit heutigem Wissen und derzeitigen diagnostischen Methoden nicht erfassen: Diagnosen, wie idiopathische Skoliose oder idiopathische Hüftkopfnekrose, zeugen davon.

Nach **Verletzungen** kann die unzureichende Reposition von Frakturen zu Achsenfehlstellungen und konsekutiven unphysiologischen Gelenkbelastungen führen, was besonders im Bereich der höher belasteten unteren Extremität bedeutsam ist. Verheilt eine Unter- oder Oberschenkelfraktur z. B. in Valgusfehlstellung, wird der laterale Anteil des Kniegelenkes vermehrt belastet, arthrotische Veränderungen sind mögliche Folge. Frakturen mit Gelenketeiligung müssen „wasserdicht“ rekonstruiert werden, da sonst eine veränderte Druckverteilung resultiert (Inkongruenzarthrose). Nach Verletzungen der Epiphysenfuge läßt sich auch bei sachgerechter Versorgung ein Fehlwachstum (einseitiger Schluß der Wachstumsfuge) nicht immer vermeiden. Frakturen der langen Röhrenknochen können bei Kindern zu einem überschießenden, aber auch verzögerten Wachstum führen und spätere Korrekturosteotomien erfordern. Während Rotationsfehler bei kindlichen Frakturen stets zu korrigieren sind, gleichen sich Achsenfehlstellungen bis zu 30° – in Abhängigkeit vom Alter des Kindes, also der verbleibenden Wachstumspotenz – weitgehend aus. Mediale Schenkelhalsfrakturen und traumatische Hüftluxationen schädigen in hohem Prozentsatz die Blutzufuhr des Hüftkopfes: Nekrosen sind die Folge.

Angeborene Fehlbildungen und Systemerkrankungen des Skeletts beruhen meist auf genetisch fixierten Schäden, die dominant oder rezessiv vererbt werden. Die Einteilung ist nicht einheitlich. Spranger unterscheidet Hypo- und Hyperplasien, Dysplasien (Entwicklungsstörungen des Knorpel-Knochengewebes, z. B. multiple kartilaginäre Exostosen, Osteogenesis imperfecta) und Dysostosen.

Exogene Faktoren, wie Röntgenstrahlung, Medikamente (Thalidomid), Infektionskrankheiten der Mutter (Röteln) sowie Zwangshaltungen im Uterus führen ebenfalls zu angeborenen Fehlbildungen.

Sind nur einzelne Gliedmaßen betroffen, ist eine Unterscheidung nach *morphologischen* Kriterien möglich:

- Störungen in der Ausbildung von Gliedmaßen (Defektbildungen, z. B. Amelie, Spalthand, Klumphand),
- Störungen bei der Differenzierung (Syndaktylie, Klinodaktylie = angeborene Achsenfehlstellung, Kamptodaktylie = Beugefehlstellung, radioulnare Synostose),
- Duplikationen (Polydaktylie),
- übermäßiges bzw. zu geringes Wachstum (Makrodaktylie, Hypoplasie des Daumens) und
- Schnürfurchen.

Erkrankungsursachen:

- Verletzung,
- Fehlbildung,
- Überlastung,
- Entzündung,
- Systemerkrankung,
- Tumor,
- neurogene Funktionsstörung.

Ätiologie oft unklar:
„idiopathisch“.

Verletzungsfolgen

- Achsenabweichung
- Inkongruenz der Gelenkfläche
- Fehlwachstum

↓
unphysiologische Gelenkbelastung

↓
Arthrose

Angeborene Fehlbildungen

Ursache

endogen: Genveränderung
(dominanter/rezessiver Erbgang),

exogen: Röntgenstrahlung,
Medikamente,
Infektion,
Lage im Uterus.

Fehlbildung von Gliedmaßen:

- Störung der Ausbildung,
- Störung der Differenzierung,
- Duplikation,
- Störung des Wachstums,
- Schnürfurchen.

Degenerative Veränderungen

Mißverhältnis von
Belastung ↔ Belastbarkeit,
Begünstigung durch präarthrotische Deformität.

Entzündung

- bakteriell,
- abakteriell;
- spezifisch (Tbc, Typhus),
- unspezifisch.

Bakterielle Infektion:
lymphogene Streuung,
hämatogene Streuung,
iatrogene Ursache.

Neurogene Funktionsstörung

- pränataler/nataler
Hirnschaden (Zerebralparese),
- Geburtstrauma (Plexusschaden),
- Infektion (Polio)
spastisch: zentral
schlaff: peripher.

Benigne Knochentumoren

- Osteochondrom,
- Chondrom,
- Osteoid-Osteom,
- Osteoblastom,
- aneurysmat. Knochenzyste.

Semimaligner Knochentumor:

- Riesenzelltumor (benigne 50 %, aggressiv-rezidivierend 35 %, maligne 15 %)

Maligne Knochentumoren

- Plasmozytom,
- Osteosarkom,
- Chondrosarkom,
- Ewing-Sarkom,
- Lymphom.

Diagnostik der Knochentumoren:

Hinweis durch
Patienten,
Prädilektionsort,
Röntgenbefund.

Exakte Diagnose durch Biopsie.

Frühzeitige rekonstruktive Eingriffe können vielfach zu wesentlichen Funktionsverbesserungen führen (Pollizisation, Entfernung überzähliger Gliedmaßen).

Coxa valga und dysplastische Hüftpfanne bedingen eine vermehrte unphysiologische Belastung von Gelenken und können zu Schmerzen führen, bei geringer Ausprägung ist Beschwerdefreiheit bis zum Lebensende möglich.

Kennzeichen **degenerativer Veränderungen** sind Abnutzungen des Gelenkknorpels. Ursache ist ein Mißverhältnis von Belastbarkeit und tatsächlicher Belastung des betroffenen Gelenkes. Eine angeborene Minderwertigkeit der betroffenen Strukturen, Stoffwechselstörungen und Medikamente (Cortison) mögen wesentliche begünstigende Faktoren sein, ebenso Achsenfehlstellungen, Hüftdysplasien, Morbus Perthes und Epiphysenlösungen (präarthrotische Deformität, Hackenbroch).

Weitere Überlastungserscheinungen sind Ermüdungsbruch und die zahlreichen Insertionstendopathien (Schulter, Ellenbogen, Achillessehne).

Bei den **Entzündungen** (vgl. 2.6) lassen sich bakterielle und abakterielle unterscheiden. Bakterielle Infektionen entstehen durch hämatogene (Erreger meist Staphylokokken) oder lymphogene Streuung sowie nach chirurgischen Interventionen (Osteitis). Spezifische Entzündungen sind – im Gegensatz zu den unspezifischen – durch eine für den Erreger typische Reaktion des Gewebes gekennzeichnet (Tbc, Typhus, Lues). *Schwellung, Schmerz, Überwärmung und Hautrötung* sind die klassischen Symptome der Entzündung.

Neurogene Funktionsstörungen (vgl. 2.10) sind oft Folge pränataler und nataler Schädigung des Gehirns (Zerebralparese). Bei der Geburt können Überdehnungen und Zerrungen des Armes zu Plexusschädigungen und damit Lähmungen führen (Typ Erb-Duchenne bei Läsion der Zervikalwurzeln C5/C6, Typ Klumpke bei Schädigung der Wurzeln C7/Th1). Die schlaffen Lähmungen nach Poliomyelitis gehen mit Wachstumsstörungen einher. Zentrale Lähmungen sind spastisch, d. h. der Muskeltonus ist erhöht, die Reflexe sind gesteigert. Die periphere Lähmung ist dagegen schlaff, der Muskeltonus ist verringert oder aufgehoben.

Tumoren führen ebenfalls zum Orthopäden. Sie können von allen Geweben ausgehen: Haut, Fettgewebe, Nerven, Sehnen, Muskulatur, Knorpel und Knochen. Wichtig ist hier die schnelle Abklärung, ob es sich um maligne Gewebeproliferationen handelt (vgl. 2.4).

Benigne und semimaligne Knochentumoren sind:

- Osteochondrom (osteokartilaginäre Exostose),
- Riesenzelltumor (aggressiv, semimaligne),
- Chondrom,
- Osteoid-Osteom,
- Osteoblastom,
- aneurysmat. Knochenzyste.

Maligne Knochentumoren:

- multiples Myelom (Plasmozytom),
- Osteosarkom,
- Ewing-Sarkom,
- Chondrosarkom,
- Lymphom.

Alter des Patienten (Osteosarkom und Ewing-Sarkom treten bevorzugt bei Patienten unter 20 Jahren, Riesenzelltumoren bei Patienten über 20 Jahren auf), **Lokalisation** (Prädilektionsstelle des Osteosarkoms ist der Bereich des Knies, insbesondere der distale Femuranteil; Riesenzelltumoren treten fast ausschließlich im epiphysären Bereich des Knochens auf) und **Röntgenbild** (scharf begrenzte Läsionen ohne Destruktion im Randbereich sind meist gut-

artig) geben oft wertvolle diagnostische Hinweise – beweisend ist jedoch allein der histologische Befund. Durch Anamnese und Diagnostik ist abzuklären, ob es sich um einen Primärherd oder eine Metastase handelt. Maligne Tumoren erfordern die Exzision, Amputationen sind heute nicht mehr immer erforderlich. Durch rekonstruktive Maßnahmen – Überbrückung der Defekte durch autologen oder homologen Knochen bzw. eine maßgefertigte Prothese – lassen sich Gliedmaße und Gelenkfunktionen erhalten, ohne die Prognose zu verschlechtern. Prä- und postoperative Chemo- und Strahlentherapie sind vom behandelnden Ärzteteam festzulegen (Orthopäde, Onkologe, Radiologe bzw. Nuklearmediziner).

Weitere Ursachen orthopädischer Krankheitsbilder sind fibröse Gelenkstreifen, Ankylosen, Gelenkkontrakturen durch Hautnarben (nach Verbrennungen), muskuläre Kontrakturen im Bereich der Hüfte und des Halses (muskulärer Schiefhals) sowie anatomische Engpässe im Bereich der Schulter, des Armes und der Wirbelsäule.

Kompressionssyndrome (vgl. 2.10.9)

Karpaltunnel-Syndrom: Kompression des N. medianus zwischen den Handwurzelknochen und dem Retinaculum flexorum sowie dem Lig. carpi palmare.

Thorax-Auslaß-Syndrom: Einengung des Plexus brachialis sowie von A. und V. subclavia in der supraklavikulären Region durch 1. Rippe und die verschiedenen Anteile des M. scalenus (Thoracic-outlet-Syndrom).

Guyon-Loge (Kompression des N. ulnaris) am Handgelenk, **Supinator-schlitz** (Ast des N. radialis) und **Pronator-teres-Syndrom** (N. medianus) als weitere Engstellen seien hier nur namentlich erwähnt. Knöcherne Veränderungen im Bereich der Foramina intervertebrale der Halswirbelsäule sowie Bandscheibenvorfälle komprimieren ebenfalls Nervenwurzeln und führen zu Schmerzen oder sensiblen und motorischen Ausfällen (vgl. 3.3.4).

Impingement-Syndrom: Akromion und Lig. acromio-claviculare drücken auf einen Teil der Rotatorenmanschette, insbesondere auf die Sehne des M. supraspinatus, bei Abduktion des Armes. Auf die Bedeutung von Formabweichungen (Genua valga, Genua vara) wird in 1.6 (Biomechanik) eingegangen.

1.3 Allgemeine Untersuchungstechniken

R. Wolff, H. Zilch

Vor jeder Diagnose steht die Erhebung der Anamnese und die exakte klinische Untersuchung.

Die **Familienanamnese** ermöglicht Rückschlüsse auf den Erbgang sichtbarer Fehlbildungen des Muskel- und Skelettsystems, sie gibt ferner Hinweise auf weniger offensichtliche Erkrankungen (Skoliose, Hüftdysplasie, Stoffwechselstörungen). Bei Säuglingen ist die Geburtslage, die Art der Entbindung und die Verfassung nach der Geburt (Apgar-Index, Zyanose ist möglicher Hinweis auf Hirnschaden) bedeutsam. Fehlen erste Bewegungen des Fetus während des 4. oder 5. Schwangerschaftsmonats, können neuromuskuläre Störungen vorliegen. Angaben über die physische und mentale Entwicklung in den ersten Lebensmonaten helfen bei der Aufdeckung von Verletzungen der oberen Extremität bzw. von Lähmungen.

Eigenanamnese: Angaben zum aktuellen Beschwerdebild umfassen folgende Fragen: Wann traten die Schmerzen erstmals auf? Sind sie nachts oder morgens stärker (Karpaltunnel-Syndrom)? Treten sie auch in Ruhe auf? Sind sie abhängig von der Belastung? Strahlt der Schmerz diffus aus oder läßt er sich lokalisieren (Dermatom)? Bestehen Muskelschwächen und Sensibilitätsverluste? Wann traten Deformitäten erstmals auf, nehmen sie zu?

Therapie der Knochentumoren:

- Tumorexzision, evtl. Amputation,
- Chemotherapie,
- Strahlentherapie.

Behandlungsteam:

Orthopäde – Onkologe – Radiologe – Nuklearmediziner

Weitere Ursachen:

verschiedene Formen der Gelenkkontrakturen.

Engpaßsyndrome

- Karpaltunnel-Syndrom,
- Thorax-Auslaß-Syndrom,
- Guyon-Loge (N. ulnaris),
- Supinator-Loge (N. radialis),
- Pronator-teres-Syndrom (N. medianus),
- Impingement-Syndrom.

Orthopädische Diagnostik

Voraussetzung:

- Familienanamnese,
- Eigenanamnese.

Schmerz

- Zeitpunkt,
- Ruheschmerz,
- Belastungsschmerz,
- Lokalisation,
- Ausstrahlung.

Klinische Untersuchung
Beurteilung der Haltung,
des Gangbildes.

Untersuchung im Stehen
von vorn:

- Beurteilung der Beinachsen,
- Spreizen der Füße mit Ent- und Belastung,
- Senkfuß, Spreizfuß, Hohlfuß,
- Tasten der Spina iliaca ant. sup. → Beckengeradstand bzw. Beckentiefstand,

seitlich:

- Form der Wirbelsäule,
- Beckenkipfung,
- Form des Brustkorbes,

von hinten:

- Schulterstand,
- Form der Wirbelsäule (Abfahren der Dornfortsätze),
- Form der Taillendreiecke (Skoliose).

Beurteilung der Muskulatur
(Atrophien?)

Inspektion, Palpation,
Prüfung der Muskelkraft

Inspektion
Schwellung, Hautverfärbung, Schwielen,
Muskelatrophie.

Bei Erwachsenen sind die Fragen nach Allergien, Einnahme von Medikamenten, Nikotin- und Alkoholkonsum sowie Gewichtsverlust wichtig.

1.3.1 Allgemeinzustand

Die klinische Untersuchung beginnt mit einer Überprüfung von Gangbild (s. 1.5) und Haltung des entkleideten Patienten (s. 1.4). Auch das Ausziehen sollte beobachtet werden: Schonhaltungen, Bewegungsdefizite und Ausweichbewegungen liefern erste Hinweise auf das Krankheitsbild. Der Patient ist von allen Seiten zu betrachten. Zu beurteilen sind:

1.3.2 Untersuchung im Stehen

- **Form der Wirbelsäule** (Abb. 2): Rundrücken, hohlrunder Rücken, Flachrücken, Gibbus-Bildung (anguläre Kyphose), Seitablenkungen (Hinweis ist z. B. eine Asymmetrie der Taillendreiecke),
- **Schulter- und Beckengeradstand** (Orientierungspunkte am Becken: Spina iliaca ant. superior). Ein Beckentiefstand ist Hinweis auf eine Beinlängendifferenz, er kann Ursache einer „statischen Skoliose“ sein, die sich durch Unterlage von Brettern unter das verkürzte Bein ausgleichen läßt.
- **Muskelatrophien** (Oberschenkelmuskulatur – insbesondere M. vastus medialis – bei Kniebinnenverletzung; M. deltoideus bei Verletzung des N. axillaris, Scapula alata bei Ausfall des M. serratus bzw. des N. thoracicus longus).
- **Thoraxform**: Trichterbrust, Kielbrust (eine erhebliche Einsenkung des Sternums kann zu Störungen der Herz- und Lungenfunktion führen, eine operative Korrektur ist dann erforderlich).
- **Form der Beinachsen**: Genua und Crura vara bzw. valga, Rekurvation.
- **Fußform**: Senk-Spreizfuß, Knickfuß, Plattfuß, Hohlfuß (Pes excavatus, deutet auf neurologische Erkrankungen hin), Spitzfuß, Hackenfuß, Sichelfuß (Pes adductus), Zehendeformitäten.

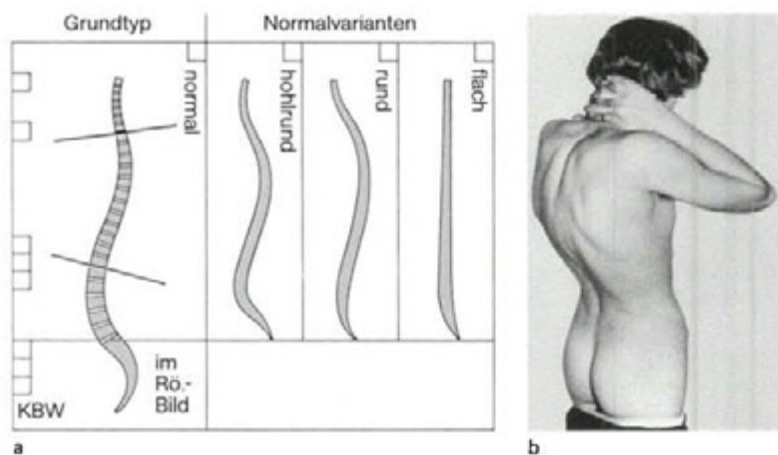


Abb. 2

a) Seitprofile des Rückens b) Hohlrunder Rücken

1.3.3 Inspektion, Palpation, Prüfung der Muskelkraft

Zur Untersuchung gehören die

- **Inspektion**: Schwellungen, Hautveränderungen, Schwielenbildung an Hand und Fuß als Zeichen der Belastung, Muskelatrophien;

- **Palpation:** Überprüfung von Muskelverspannungen, Myogelosen, Ermittlung von Resistenzen, Druckdolenzen und Überwärmung, die Überprüfung von Sensibilität und Durchblutung sowie die Abschätzung der Muskelkraft.

Die **Muskelkraft** wird nach folgendem Schema bewertet:
 0: komplette Lähmung, keine Kontraktion nachweisbar;
 1: schwache Muskelkontraktion ist palpabel, eine Bewegung im Gelenk jedoch nicht möglich;
 2: Bewegung unter Ausschaltung der Schwerkraft möglich;
 3: Bewegung gegen die Schwerkraft möglich;
 4: Bewegung gegen Schwerkraft und leichten Widerstand möglich;
 5: volle Muskelkraft, komplettes Bewegungsausmaß gegen vollen Widerstand.

1.3.4 Summarische Funktionsprüfung

Es folgen pauschale Bewegungsprüfungen der Wirbelsäule (Finger-Boden-Abstand beim Vorneigen) und der Schulter (Schürzengriff, Nackengriff). Eine Rotationsfehlstellung der Wirbelsäule führt bei Inklination zu einer vermehrten Lendenwulst bzw. einem Rippenbuckel, beides typische Zeichen für eine Seitenausbiegung bzw. Skoliose. Bei Bandscheibenirritationen sind Ausweichbewegungen typisch. Bei Insuffizienz der Glutealmuskulatur sinkt beim Stand auf dem erkrankten Bein das Becken zur gesunden Seite ab (Trendelenburg-Zeichen) (Abb. 3).

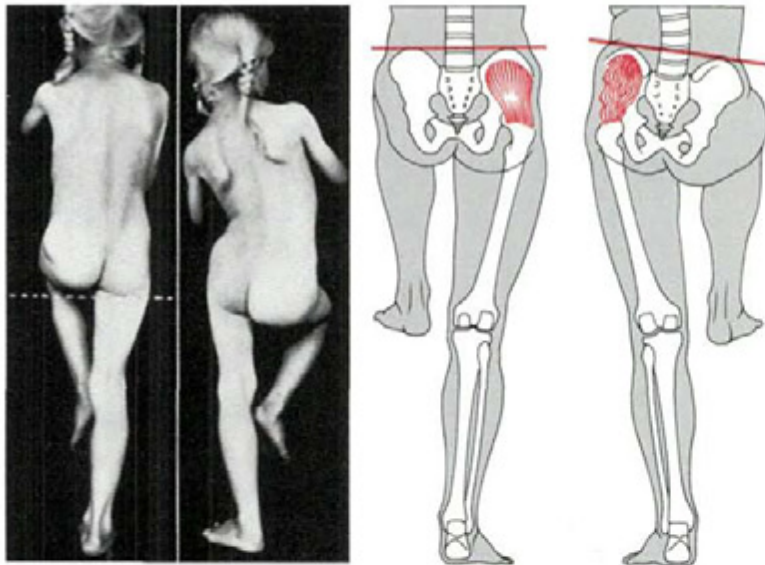


Abb. 3 Trendelenburg-Zeichen: Bei suffizienter Glutealmuskulatur bleibt das Becken bei Einbeinstand gerade.

1.3.5 Bewegungsprüfung

Die Untersuchung einzelner Gelenke erfordert die detaillierte Angabe des Bewegungsausmaßes (aktiv und passiv) nach der **Neutral-Null-Methode**. Von der natürlichen Stellung des Gelenkes ausgehend, werden jeweils Streckung und Beugung gemessen und in Grad angegeben. Kann das Ellenbogen-

Palpation

Muskelverhärtung, Resistenzen, Druckdolenzen, Überwärmung, Sensibilität, Durchblutung.

Muskelkraft

von 0–5 bewertet.



Summarische Funktionsprüfung

- Nackengriff
- Schürzengriff
- Trendelenburg-Zeichen (Beckenklippung beim Einbeinstand)
- Wirbelsäulenbeweglichkeit:
 - Entfaltung der Dornfortsätze
 - Finger-Boden-Abstand
 - Ausweichbewegungen (Bandscheibenirritation)
- Lendenwulst, Rippenbuckel bei Seitenausbiegung (Skoliose)

Bewegungsprüfung

Neutral-Null-Methode
 z. B. Ellenbogengelenk $10^\circ/0^\circ/140^\circ$,
 Kniegelenk $0^\circ/20^\circ/20^\circ$ –
 Ankylose in 20° Beugung.

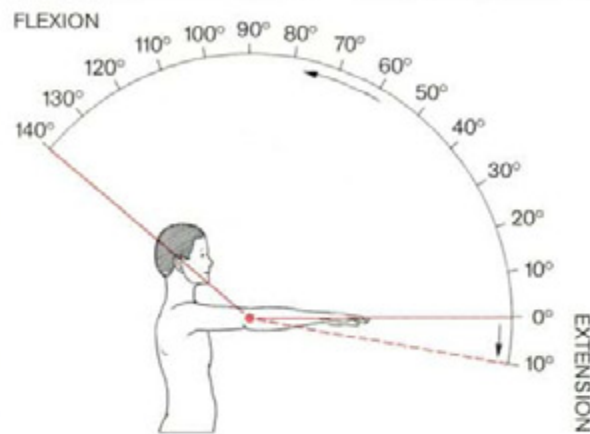


Abb. 4 Bewegungsausmaß Ellenbogengelenk: 10°/0°/140° nach der Neutral-Null-Methode

gelenk z. B. um 10° überstreckt und 140° gebeugt werden, lautet die korrekte Angabe: Extension/Flexion: 10°/0°/140° (Abb. 4). Die Angabe besteht also immer aus 3 Winkelangaben einschließlich der Neutralstellung 0° (normalerweise die mittlere Zahl). Wird die Neutralstellung nicht erreicht, besteht z. B. ein Streckdefizit von 10° bei gleicher Beugung, lautet die Angabe: Extension/Flexion: 0°/10°/140°. Eine Ankylose des Kniegelenkes in 20° Beugung wird notiert: 0°/20°/20°, eine Bewegung im Handgelenk von 40° nur im Streckbereich: 40°/0°/0°. Das Bewegungsausmaß der erkrankten Seite wird mit der gesunden Seite – bzw. mit Normwerten – verglichen. Bei der Bewegungsprüfung ist auf Krepitation und Schmerzangaben zu achten.

Neurologische Untersuchung

u. a. zur Differenzierung von Pseudoparalysen (schmerzbedingte Bewegungseinschränkung) und Muskelatrophien durch Inaktivität von neurogenen Störungen.

Motorische Störungen

Spastische Lähmung:
zentral gelegen,
erhöhter Muskeltonus,
Muskeleigenreflexe gesteigert,
Koordinations- und Gangstörungen.

Nukleäre Lähmung:

Ort: motorische Vorderhornzelle (Poliomyelitis, spinale Muskelatrophie),
schlaffe Lähmung,
keine Sensibilitätsstörung.

Radikuläre Lähmung:

motorische und sensible Ausfälle:
Kennmuskeln, Dermatome.

1.3.6 Neurologische Untersuchung

Jede orthopädische Untersuchung endet mit einer neurologischen Untersuchung. Schmerzbedingte Bewegungseinschränkungen können z. B. Lähmungen vortäuschen. Ein typisches Beispiel ist die akute Tendinitis calcarea als Teilaspekt der Periarthropathia humeroscapularis mit der Unfähigkeit, den Arm zu abduzieren. Sie wird daher auch als Pseudoparalyse bezeichnet. Der N. axillaris ist jedoch intakt.

Auch ausgeprägte Muskelatrophien müssen nicht Folge einer Lähmung, sondern können durch längere Inaktivität entstanden sein.

Die **motorischen** Störungen haben je nach Höhe der Läsion unterschiedliche Erscheinungsbilder:

- **Spastische Lähmung:** Sie ist zentralbedingt, d. h. ihre Schädigung liegt oberhalb der motorischen Vorderhornzelle. Folge: erhöhter Muskeltonus, Steigerung der Muskeldehnungsreflexe, Koordinationsstörungen, Pyramidenbahnzeichen, Gangstörungen.
- **Nukleäre Lähmung:** Läsionen der motorischen Vorderhornzelle bedeuten eine Lähmung vom peripheren Typ wie bei der spinalen Muskelatrophie oder der Poliomyelitis anterior acuta. Die Lähmung ist schlaff, Sensibilitätsstörungen fehlen.
- **Radikuläre Lähmung:** In der Mehrzahl der Fälle ist bei einer Schädigung der Spinalnervenwurzeln sowohl eine motorische als auch eine sensible Schädigung nachzuweisen. Die letzteren folgen sog. Dermatomen, bei motorischen Störungen sind sog. Kennmuskeln betroffen, die im Idealfall nur aus einer Wurzel versorgt werden. Daher sind aus der peripheren neurologischen Untersuchung eindeutige Rückschlüsse auf die Höhe der Schädigung möglich (Abb. 5).

- **Lähmungen des Plexus und der peripheren Nerven** sind ebenfalls schlaffe Lähmungen. Die Höhenlokalisation richtet sich nach dem Ausfall der innervierten Muskeln. Bei der Beurteilung der Lähmung muß zwischen einer inkompletten (Parese) und einer vollständigen Lähmung (Paralyse) unterschieden werden.

Bei **sensiblen Störungen** (Abb. 5) muß zwischen einer Anästhesie, Hyp- oder Hyperästhesie unterschieden werden. Parästhesien können in Form der Kribbelparästhesien auftreten oder das Gefühl wie „Ameisenlaufen“, „von tausend Stecknadeln“ oder wie „eingeschlafen“ vermitteln.

Die Überprüfung der Tiefensensibilität gelingt mit dem Lageempfinden und dem Vibrationssinn.

Vegetative Funktionsstörungen zeigen sich in Ausfällen der Schweißsekretion (z. B. der ersten 3½ Finger bei Medianuslähmung), in Piloarrektion und in Störung der Vasomotorik. So können replantierte Finger u. U. eine gute Funktion wiedererlangen, die Gebrauchsfähigkeit bleibt aber trotzdem wegen starker Überempfindlichkeit gegenüber Temperaturwechsel – insbesondere Kälte – herabgesetzt.

Reflexuntersuchungen runden den Untersuchungsgang ab. **Veränderte Muskeleigenreflexe** lenken auf Störungen des Reflexbogens.

Bizepsreflex:	C5, C6	} N. musculocutaneus
Brachioradialisreflex:	C5, C6	
Trizepssehnenreflex:	C7, C8;	N. radialis
Patellarsehnenreflex:	(L2), L3, L4;	N. femoralis
Achillessehnenreflex:	S1, S2;	N. tibialis

Pyramidenbahnzeichen treten bei Störungen des 1. motorischen Neurons auf (z. B. Babinski-Gruppe).

Lähmung des Plexus und peripherer Nerven:

- schlaffe Lähmung
- Parese: Teillähmung
- Paralyse: vollständige Lähmung.

Sensible Ausfälle

Unterscheidung zwischen Anästhesie, Hyp- und Hyperästhesie und Parästhesien (Mißempfindung).

Vegetative Störungen

- Störung der Schweißsekretion,
- Piloarrektion,
- Störung der Vasomotorik (z. B. nach Replantation).

Reflexuntersuchungen:

Muskeleigenreflexe,

Pyramidenbahnzeichen (Babinski-Gruppe),
Nervendehnungsschmerz,
Lasègue,
Bragard.

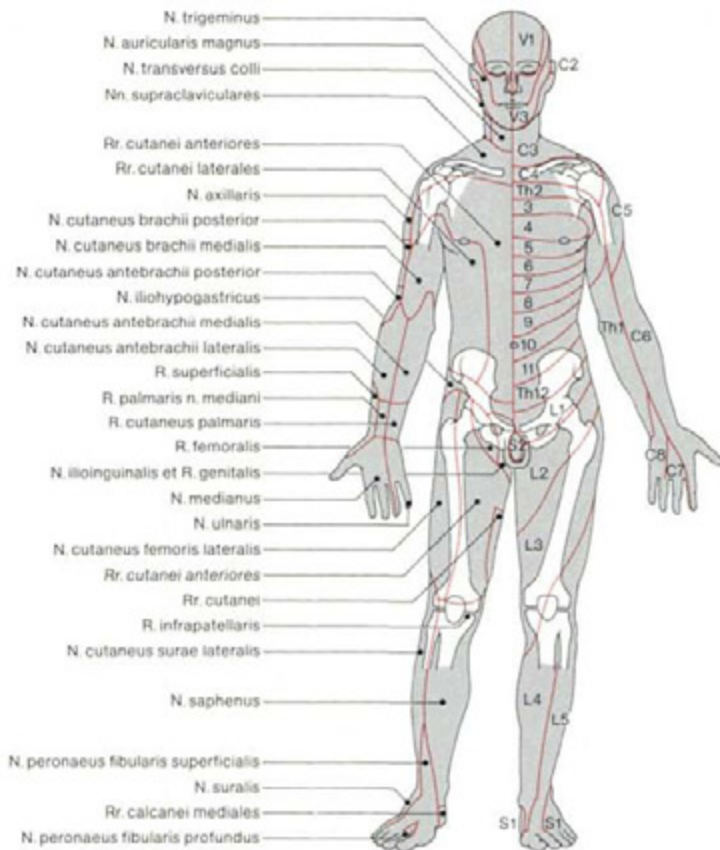


Abb. 5 Nervöse Versorgung der Haut (Nerv und Wurzel)

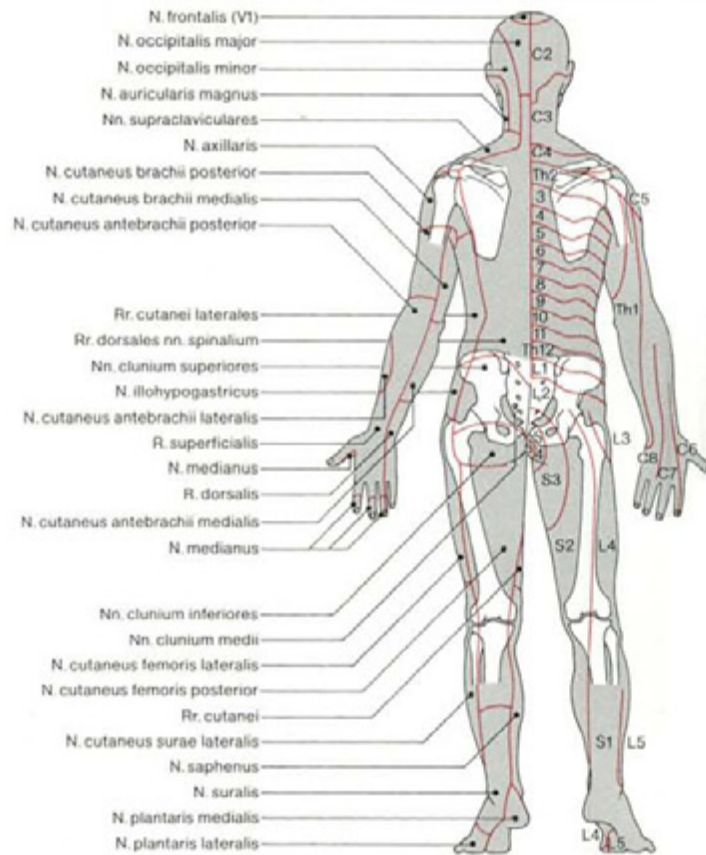


Abb. 5 Nervöse Versorgung der Haut (Nerv und Wurzel)

Nervendehnungsschmerzen können z. B. bei raumfordernden Prozessen im Wurzelbereich ausgelöst werden. Beim liegenden Patienten wird ein Bein passiv gestreckt angehoben. Das *Lasègue-Zeichen* ist positiv, wenn Schmerzen bei einer Hüftbeugung unter 80° auftreten. Durch Dorsalexension des Fußes wird der Schmerz intensiviert: *Bragard-Zeichen* positiv. Die Tabelle 1 gibt die Nerven- und Wurzelversorgung der wichtigsten Muskeln wieder.

Tabelle 1 Nervöse Versorgung einschließlich Wurzel der wichtigsten Muskeln

Muskel	
Sternokleidomastoideus	XI
Trapezius	XI
Zunge	XII
Zwerchfell	C 3 4 (5)
Levator scapulae	C 3 4 5
Rhomboidei	4 5
Serratus anterior	5 6 7
Supraspinatus	4 5 6
Infraspinatus	4 5 6
Pectoralis major	5 6 7
Subskapularis	5 6 7
Latissimus dorsi	6 7 8
Teres major	5 6 7
Deltoideus	5 6
Bizeps und Brachialis	5 6

Flexor dig. superficialis	C 7 8
Flex. dig. prof. II, III	7 8
Flex. pollicis longus	7 8
Pronator quadratus	7 8
Abductor pollicis	7 8
Opponens pollicis	7 8
Flex. poll. brevis (Caput superfic.)	8 (Th1)
<i>N. ulnaris</i>	
Flexor carpi ulnaris	C 7 8 Th1
Flex. dig. prof. IV, V	7 8
Hypothenar	8 1
Palmaris brevis	8 1
Interossei	8 1
Adductor pollicis	8 1
Flex. poll. brevis (Caput prof.)	8 1
<i>N. radialis</i>	
Trizeps	C 6 7 8
Brachioradialis	5 6
Ext. carpi rad. longus	6 7 (8)
Ext. carpi rad. brevis	6 7 (8)
Supinator	5 6 7
Ext. digitorum communis	6 7 8
Ext. digiti minimi	7 8
Ext. carpi ulnaris	7 8
Abd. pollicis longus	7 8
Ext. pollicis longus	7 8
Ext. pollicis brevis	7 8
Ext. indicis	7 8
<i>N. medianus</i>	
Pronator teres	C 6 7
Flexor carpi radialis	6 7
Palmaris longus	7 8 Th1
Rücken	
Abdomen	Th 6–12
Iliopsoas	L 1 2 3 4
Adduktoren	2 3 4
Abduktoren (Glut. med.)	4 5 S1
Innenrotation Oberschenkel	4 5 1
Außenrotation Oberschenkel	4 5 1 2
Glutaeus maximus	5 1 2
Quadriceps femoris	2 3 4
Kniebeuger, innere	4 5 1 2
Biceps femoris (äußere Kniebeuger)	5 1 2
<i>N. peroneus</i>	
Tibialis anterior	L 4 5
Ext. digitorum longus	(4) 5 S1
Ext. hallucis longus	(4) 5 (1)
Peronei	(4) 5 1
Ext. digitorum brevis	(4) 5 1
<i>N. tibialis</i>	
Gastrocnemius, Soleus	5 1 2
Tibialis posterior	5 1
Zehenflexoren	5 1 2

Röntgenuntersuchung

Zu erkennen sind:

- Formabweichungen,
- Strukturveränderungen.

Röntgenaufnahmen immer in 2 senkrecht zueinander stehenden Ebenen.

Kind: Knochenkerne stellen sich erst ab gewissem Lebensalter dar.

Hüftkopf-Epiphysenkern:
ab 3. Lebensmonat.

Reifebestimmung durch Röntgenaufnahme des Handskeletts (Pyle-Greulich), Vergleich mit Normtafel.

Beim Kind: Aufnahme der Gegenseite zur exakten Beurteilung von Epi- und Apophysen.

Gehaltene Aufnahmen

(Haltegerät, manuell)

Vergleich mit Gegenseite zum Ausschluß einer konstitutionellen Bänderschwäche.

Funktionsaufnahmen der Wirbelsäule decken auf:

- Blockierung eines Segmentes
- Hypermobilität eines Segmentes.

1.3.7 Röntgenuntersuchung

Durch Röntgenuntersuchungen lassen sich Formabweichungen und Strukturänderungen des Knochens erfassen, indirekt sind ferner Aussagen über Knorpelveränderungen (z. B. Verschmälerung des Gelenkspaltes) möglich.

Um den dreidimensionalen Knochen beurteilen zu können, sind immer Aufnahmen in zwei Ebenen erforderlich. Bei alleiniger Aufnahme in einer Ebene werden Luxationen (insbesondere hintere Schulterluxation), Epiphysenlösungen und Dislokationen sowie Stufenbildungen bei Frakturen u. U. nicht erkannt.

Besonderheiten im Kindesalter

Beim Kind stellen sich viele Skelettanteile erst nach ausreichender Kalkeinlagerung dar. So stellt sich der epiphysäre Hüftkopfkern beim Säugling erst im Alter von 3 Monaten dar, die Hüfte ist röntgenologisch also erst dann zu beurteilen (Luxation, Dysplasie). Das Auftreten von Knochenkernen am Handskelett wird zur Bestimmung (Reifebestimmung) des biologischen Alters und Abschätzung der endgültigen Körpergröße benutzt (Vergleich mit Normtafeln von Pyle-Greulich). Die zunehmende Verknöcherung der Darmbeinapophysen erlaubt eine Abschätzung einer noch möglichen Skoliosepredienz (Risser-Zeichen).

Um nach Verletzungen im Kindesalter eine Aussage über Dislokationen und Ausrisse von Epi- bzw. Apophysen – letztere sind bei der Ossifikation epiphysennah-metaphysär auftretende Nebenkerne, die sich zu Knochenvorsprüngen entwickeln, z. B. Tuberositas tibiae – zu erhalten, wird die gesunde Gegenseite zum Vergleich herangezogen. Denn die knorpeligen Wachstumsfugen, die sich nur röntgen-negativ als Unterbrechung des Knochens abbilden, sind in ihrer röntgenologischen Darstellung starken altersabhängigen Schwankungen unterworfen, so daß ihre Beurteilung auch für einen Erfahrenen schwierig sein kann.

Bei **gehaltenen Aufnahmen** zum Nachweis einer Bandverletzung (Sprunggelenk, Kniegelenk, Daumengrundgelenk) ist ebenfalls eine Vergleichsaufnahme der Gegenseite erforderlich, um Fehldiagnosen bei einer physiologischen Bandlaxität zu vermeiden. Auf gleichartige Belastung (Haltegerät, manuell) und Projektion (Winkelveränderung durch unterschiedlichen Strahlengang) ist unbedingt zu achten (Abb. 6).

Funktionsaufnahmen der Wirbelsäule (HWS, LWS) lassen die Mobilität in den betroffenen Bewegungssegmenten erkennen.

Achsenaufnahmen der unteren Extremität mit und ohne Belastung helfen bei der Planung von Korrekturosteotomien (Beinlängendifferenz, Fehlstellung).

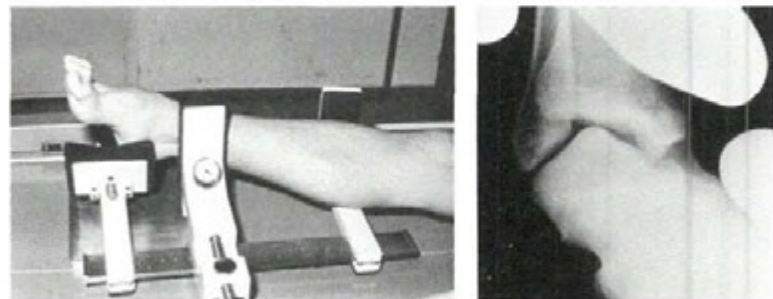


Abb. 6 Gehaltene Aufnahmen des oberen Sprunggelenkes zum Nachweis lateraler Bandrupturen
a) apparativ, b) manuell mit Taluskipung

Durch **Schichtaufnahmen** lassen sich die Tumorausdehnungen ermitteln, was jedoch meist besser mit einem **Computertomogramm** gelingt. Raumfordernde Prozesse im Bereich der Wirbelsäule (z. B. Bandscheibenvorfall und Frakturen) lassen sich mit diesem Verfahren ebenfalls darstellen. Durch eine spezielle Aufnahmetechnik werden Querschnittsbilder des Knochens und der Weichteilgewebe über einen Computer jeweils „errechnet“. Die Computertomographie wurde von Godfrey Hounsfield entwickelt und 1973 für Schädeluntersuchungen eingeführt.

Projektionsphänomene: Bei einem Film-Fokus-Abstand von 1 m ist unter bestimmten Voraussetzungen eine naturgetreue Abbildung des Knochens in Form und Größe gewährleistet. Dies gilt aber nur für die im Zentralstrahl gelegenen Strukturen, solche in der Peripherie des Röntgenbildes sind verprojiziert. Dies ist z. B. besonders bei der Beurteilung einer Wirbelkörperhöhe oder des Zwischenwirbelraumes zu beachten, um Fehldiagnosen zu vermeiden. Bei unsicheren Befunden müssen **Zielaufnahmen** gefordert werden, bei denen der zu untersuchende Bezirk vom Zentralstrahl getroffen wird.

Liegt der Knochen nicht parallel zur Filmkassette, wird er ebenfalls nur verprojiziert abgebildet. Bei einer normalen Beckenübersicht in Außenrotation der Beine wird der Collum-Diaphysen-Winkel zu groß abgebildet, da die Antetorsion des Schenkelhalses nicht ausgeschaltet worden ist. Soll der Schenkelhalswinkel (z. B. vor Umstellungsosteotomien, bei Hüftdysplasien) bestimmt werden, läßt sich der tatsächliche Wert nur bei Ausschaltung der Antetorsion, also einer entsprechenden Innenrotation der Beine, im a. p. Strahlengang ermitteln. Bei Kindern werden Aufnahmen unter Standardbedingungen (a. p. Aufnahme und Lauensteinaufnahme) angefertigt, die Winkel ausgemessen und aus einer Tabelle die korrigierten tatsächlichen Angaben entnommen.

Spezielle röntgenologische Befundungen

1. Degenerative Veränderungen

- **Knorpel** (Chondrose): Der Gelenkknorpel wird dünner, im Röntgenbild resultiert eine Gelenkspaltverschmälerung. Der Knorpel verliert seine dämpfende Wirkung, subchondral findet sich im Bereich der Hauptbelastungszonen eine reaktive Osteosklerose. Die Zugbelastung des Kapsel-Bandapparates führt zu spornartigen Knochenausziehungen.
- **Gelenk** (Arthrose): Verschmälerung des Gelenkspaltes, Randanbauten (exophytäre Randwulstbildung), subchondrale Sklerose, Bildung von Geröllzysten, paraartikuläre Verkalkungen.
- **Sehnenansatzbereich:** Kalkeinlagerung, spornartige Ausziehungen am Sehnenansatzbereich (Achillessehne, Plantarfaszie, M. supraspinatus).

2. Entzündliche Veränderungen

- **Gelenk:** Die Entzündung der Synovialmembran führt zu Hyperämie und Exsudation, also zum Erguß. Zunächst ist der sichtbare Gelenkspalt daher *erweitert* (ebenso im Initialstadium des Morbus Perthes, hier durch ein Knorpelödem). Zirkulationsstörung und schmerzbedingte Inaktivität führen zur Osteoporose, beginnend direkt unterhalb des subchondralen Knochens, so daß dieser zunächst durch scharfe Konturzeichnung verdeutlicht wird. Lytische Veränderungen im Knorpel- und Knochenbereich führen später zu subchondralen Arosionen. Schließlich finden sich Osteolysen, Gelenkspaltverschmälerung bis hin zur -aufhebung und u. U. eine Ankylose.
- **Knochen:**
Akute Osteomyelitis: lamelläre oder spikulaähnliche Periostverkalkungen nach 8–10 Tagen, dann lokale Entkalkungen der befallenen Spongiosastrukturen, mottenfraßähnlich, fleckige Aufhellungen, schließlich Sequesterbildung (DD: Tumor).

Schichtaufnahme, Computertomographie zur besseren Darstellung von pathologischen Prozessen.

Projektionsphänomene

Naturgetreue Abbildung des Knochens:

- Er muß im Zentralstrahl und
 - parallel zur Filmkassette liegen,
- Fehlinterpretation durch *Verprojizieren*:
- Höhenminderung eines Wirbelkörpers oder eines Zwischenwirbelraumes,
 - unkorrekter Schenkelhalschaftwinkel durch Nichtausschalten der Antetorsion.

Degenerative Veränderungen:

Chondrose

Zeichen der Arthrose:

- verschmälerter Gelenkspalt,
- exophytäre Randwulstbildung,
- subchondrale Sklerose,
- Geröllzysten,
- paraartikuläre Verkalkung.

Entzündliche Veränderungen am Gelenk:

- Gelenkspalt erweitert (Frühphase),
- Kalksalzatrophy,
- Zysten,
- Lysezonen,
- Gelenkspaltverschmälerung,
- Ankylose.

Entzündliche Veränderungen am Knochen:

Osteomyelitis

- akute:
lamelläre oder spikulaähnliche Periostverkalkung, lokale Entkalkung, fleckige Aufhellungen, Sequester, DD: Tumor

- chronische:
unregelmäßige Sklerosierung, periostale Appositionen, DD: Osteoid-Osteom, Plattenepithelkarzinom, Fibrosarkom.

Osteoporose

Im Röntgenbild erst nach erheblicher Entkalkung (20–30%) sichtbar:
vermehrte Transparenz,
Strukturen wie mit Bleistift nachgezogen,
Keilwirbel im Bereich der BWS,
Fischwirbel an der LWS.

Lokale Osteoporose bei:

- Inaktivität,
- Morbus Sudeck,
- PCP.

DD: Osteomalazie, Tumor, HPT.

Osteomalazie

Unzureichender Einbau von Kalzium,
Röntgenbefund:
Dichte des Knochens herabgesetzt, Spongiosastruktur unscharf, verwaschen.

DD: Osteoporose, HPT.

Kontinuitätsunterbrechung:

Frische Fraktur:
scharfkantige, reaktionslose Unterbrechung.
Durch Resorption am Frakturspalt bessere Darstellung nach ca. 14 Tagen.

Spontanfrakturen

Am vorgeschädigten Knochen durch inadäquates Trauma bei Osteoporose, Osteomyelitis, Knochenzysten und Tumoren, Metastasen.
Röntgenbild: Neben Fraktur primäre Osteolyse.

Chronische Osteomyelitis: unregelmäßige Sklerosierung des Knochens, periostale Appositionen (DD: Osteoid-Osteom, Plattenepithelkarzinom, Fibrosarkom).

3. Osteoporose

Nach dem 40.–45. Lebensjahr setzt eine Dichte- und Strukturveränderung des Knochens ein. Eine Osteoporose liegt vor, wenn die Spongiosa nur noch 70% ihrer höchsten Dichte hat (bei Frauen nach dem 55., bei Männern nach dem 60. Lebensjahr). Röntgenbefund: Die Transparenz des Knochens nimmt zu, die Struktur erscheint wie mit dem Bleistift gezeichnet (Abb. 7). Keilwirbelbildung im Bereich der BWS (Kyphosebildung durch Fraktur der ventralen Wirbelkörperanteile), Fischwirbelbildung im Bereich der LWS. Die Knochenichte in den Metaphysen nimmt ab. Sicherung der Diagnose durch Biopsie aus Beckenkamm, Neutronenaktivierungsanalyse, densitometrische Methoden.

Spezielle Form: Steroidosteoporose.

Spezielle lokale Osteoporosen bei

- Inaktivität,
- Morbus Sudeck,
- PCP,
- (Tumor, Entzündung).

DD: Osteomalazie, Hyperparathyreoidismus, Plasmozytom (Klärung durch Laborwerte, Biopsie).

4. Osteomalazie: Der Knochen baut nur unzureichend Kalksalze ein. Röntgenbefund: Dichte des Knochens ist herabgesetzt, die Spongiosastrukturen erscheinen verwaschen und unscharf.

Ursache: Störung der Kalziumresorption (Vitamin D-Mangel), Kalziummangel, Nierenschäden.

DD: Osteoporose, Hyperparathyreoidismus.



Abb. 7
Osteoporose der Handwurzelknochen. Die Kortikalis erscheint wie mit einem Bleistift nachgezogen.

5. **Kontinuitätsunterbrechung:** Eine *frische Fraktur* zeichnet sich durch eine scharfkantige reaktionslose Unterbrechung des Knochens aus. Im Verlauf des Heilungsprozesses kommt es zunächst infolge Resorption im unmittelbaren Frakturbereich zu einer Verdeutlichung der Frakturlinie. Eine *Fissur*, z. B. im Os scaphoideum, wird daher nach 10–14 Tagen anlässlich einer Röntgenkontrolle deutlich erkennbar, da der unmittelbare Frakturrand schärfer abgebildet wird. Mit zunehmendem Knochenneubau „verdämmert“ der Frakturspalt, er wird unscharf und verschwindet langsam.

Spontanfrakturen entstehen durch inadäquate Gewalt bei vorgeschädigtem Knochen, so bei Osteoporose, Osteomyelitis, Knochenzysten und Enchondromen, insbesondere bei Knochenmetastasen. Diese „pathologischen“ Frak-

turen zeigen im Bereich der Fraktur primär Osteolysen, Defekte und Kortikalisverdünnungen.

Ermüdungsbrüche sind schleichende Kontinuitätsunterbrechungen bei gleichzeitigen Reparationsvorgängen. Die Frakturlinie ist daher unscharf mit Kalusreaktionen.

Auf die röntgenologischen Zeichen von Implantatlockerung (Lysesaum), Pseudarthrosen und Osteochondronekrose (Stadien der Nekrose) wird in den entsprechenden Kapiteln eingegangen.

6. Physikalisch bedingte Knochenschäden

Osteoradionekrosen: Osteolysen nach Bestrahlungen, z. B. am Beckenskelett und Hüftkopf nach Bestrahlung des weiblichen Genitalkarzinoms. Die Osteolysen können auch erst Jahre nach der Bestrahlung auftreten.

Vibrationsschäden: Osteonekrosen des Os lunatum bei Preßluftarbeiten werden bei entsprechend langer Disposition als Berufskrankheit anerkannt.

Tauchunfälle, Caissonkrankheit: Aseptische Knochennekrosen mit Zystenbildungen im subchondralen Knochenbereich (z. B. Hüftkopfnekrose) mit Ernährungsstörungen des Knorpels, die zu frühzeitiger Arthrose führen. Auch Sensibilitätsstörungen bis hin zu Querschnitt-Symptomen können auftreten.

Ursache: Infolge des erhöhten Druckes wird Sauerstoff und Stickstoff vermehrt gelöst. Bei zu plötzlichem Aufstieg wird Stickstoff durch den nachlassenden Außendruck in Bläschenform frei (Gasembolie).

1.3.8 Kernspin(resonanz)tomographie (MRT)

Kerne bzw. Moleküle mit einer ungeraden Anzahl von Protonen verfügen über ein magnetisches Moment (Spin), sie sind kleinen Stabmagneten vergleichbar und richten sich in einem magnetischen Feld aus. Ein dazu senkrechter Impuls führt zu einer Umorientierung. Kippen die Protonen in ihre Ausgangslage zurück, wird ein schwaches Signal abgegeben, das sich über Computer in ein Bild umsetzen läßt. Der Bildcharakter läßt sich durch Variation verschiedener Parameter ändern (z. B. Repetitionszeit, Echozeit).

Mit diesem noch neuen und aufwendigen Verfahren lassen sich Weichteilstrukturen und deren pathologische Veränderungen erfassen, evtl. auch Durchblutungs- und Stoffwechselforgänge (die Signalintensität von Flüssigkeiten hängt von ihrer Fließgeschwindigkeit ab). Knochennekrosen lassen sich frühzeitig erkennen, ebenso Muskelverletzungen.

1.3.9 Ultraschalluntersuchungen

Sie dienen zur Erfassung von Weichteilveränderungen (Muskel- und Sehnenverletzungen, Impingement-Syndrom im Schulterbereich) und von Hüftluxationen im Säuglingsalter. Hier hat sie gegenüber der Röntgenuntersuchung folgende Vorteile: nicht strahlenbelastend, bereits beim Neugeborenen einsetzbar, also vor der röntgenologischen Darstellung des Hüftkopfepiphyseknerns, der erst im 3. Lebensmonat zur Darstellung kommt.

1.3.10 Arthroskopie

Über ein feines optisches System lassen sich Gelenkbinnenräume (Knie-, Schulter-, Ellenbogen-, Hand- und Sprunggelenk) direkt oder über einen Bildschirm betrachten. Im Kniegelenk lassen sich Meniskus- und Kreuz-

Ermüdungsbrüche

Nebeneinander von schleichender Unterbrechung und Reparationsvorgängen.

Physikalisch bedingte Knochenschäden:

Osteoradionekrosen

Knochenuntergang (Osteolysen) infolge ionisierender Strahlen, z. B. am Becken und Hüftkopf nach Bestrahlung des weiblichen Genitalkarzinoms.

Vibrationsschäden

Bei Preßluftarbeiten:

Nekrose des Os lunatum.

Taucherunfälle, Caissonkrankheit

Durch zu schnelle Dekompression Stickstoff in Bläschenform im Blut (Gasembolie).

Folge:

- aseptische Knochennekrose (Hüftkopf),
- neurologische Störungen (bis Querschnittslähmung).

Kernspintomographie

Beurteilung von Weichteilstrukturen, Durchblutungs- und Stoffwechselforgängen.

Sonographie

Früherkennung der Hüftluxation, Weichteilveränderungen.

Arthroskopie

Beurteilung von Knie-, Schulter-, Hand-, Ellenbogen-, Sprunggelenk.

Myelographie

Nachweis eines Bandscheibenvorfalls.

Arthrographie

- Knie: Beurteilung von Meniskusverletzungen, Kniekehlenzysten.
- Schulter: Nachweis einer Ruptur der Rotatorenmanschette.
- Hand: Nachweis einer Diskusverletzung.

Szintigraphie

Nachweis des erhöhten (verminderten) Knochenstoffwechsels.

Erfassen von:

- Tumoren, Metastasen,
- Fissuren,
- Prothesenlockerung,
- Entzündung.

Elektromyographie (EMG) und Nervenleitgeschwindigkeit (NLG)

Einsatz bei Nervenschäden (z. B. Kompressions-Syndrom) und zur Beurteilung der Regeneration.

bandverletzungen und Knorpelschäden sichern (Treffsicherheit 95 %). Knorpelglättungen und Meniskektomien sind ebenfalls arthroskopisch möglich.

1.3.11 Myelographie

Ein wasserlösliches Kontrastmittel wird in den Rückenmarkskanal gespritzt. Raumfordernde Prozesse (Bandscheibenvorfall) unterbrechen die Kontrastmittelsäule oder dellen sie ein.

1.3.12 Arthrographie

Ein Kontrastmittel (und Luft) wird unter sterilen Bedingungen in das betreffende Gelenk eingespritzt. Mögliche Komplikationen sind Infektion und Allergie auf das Kontrastmittel.

- **Knie:** Darstellung von Kniekehlanglien und Meniskusläsionen. Meniskusverletzungen lassen sich meist mit einer Treffsicherheit von ca. 90 % ermitteln. Zur Diagnostik von Verletzungen wird heute die Arthroskopie vorgezogen, da sich Knorpel- und Kreuzbandschäden besser erfassen lassen.
- **Schulter:** Die Arthrographie dient zur Darstellung von Einrissen in der Rotatorenmanschette: Kontrastmittel strömt in die Bursa subakromialis.
- **Hüfte:** Die Arthrographie kann die Ursachen eines fehlgeschlagenen Repositionsversuches einer kindlichen Hüftluxation aufdecken (z. B. eingeschlagener Limbus, Pannusgewebe).
- **Handgelenk:** Indikation zur Arthrographie ist der Verdacht auf eine Diskusverletzung.

1.3.13 Szintigraphie

Die Szintigraphie erlaubt Aussagen über den Knochenstoffwechsel. Dem Patienten wird eine radioaktive Substanz (z. B. ^{99m}Tc -phosphat, Halbwertszeit 6 Stunden) verabreicht. Nach 2–5 Stunden wird die Aktivitätsverteilung im Körper gemessen. Eine erhöhte Aufnahme von Radionukleiden erfolgt in Gebieten mit erhöhter metabolischer Aktivität (wobei der genaue Mechanismus noch unklar ist). Anwendungsgebiet: Nachweis von Tumoren und Metastasen, Nachweis von Fissuren, insbesondere Ermüdungsfrakturen (vermehrte Aktivität ca. 5 Tage nach der Fraktur nachweisbar), Nachweis von Entzündungen und Prothesenlockerungen. Durch Verwendung spezieller radioaktiver Substanzen (z. B. Gallium 67) sind zukünftig vielleicht Abgrenzungen zwischen Lockerung und Entzündung möglich.

1.3.14 Elektromyographie

Das EMG und die Bestimmung der *Nervenleitgeschwindigkeit* ermöglichen die Erfassung von Nervenschäden und Regeneration. Unterer Grenzwert der normalen Leitgeschwindigkeit im Bereich der oberen Extremität: 50–60 m/s. Eine Verlängerung der distalen motorischen Latenzzeit unter 4 m/s sichert z. B. die Diagnose eines Karpaltunnelsyndroms ($\frac{2}{3}$ der Patienten), ein normaler Wert schließt sie allerdings nicht immer aus.

1.3.15 Laboruntersuchungen

Blutsenkung, Bestimmung von Hämoglobin, Anzahl der roten und weißen Blutkörperchen, Harnsäure, Elektrophorese, die Parameter des Kalziumstoffwechsels und der Rheumafaktoren geben wichtige diagnostische Hinweise. Pathologische Werte sind aber weder notwendiger noch hinreichender Beweis für ein orthopädisches Krankheitsbild. So ist z. B. der HLA-B27-Faktor im Serum von über 90 % (80–95 %) der Patienten mit einem Morbus Bechterew nachweisbar, aber auch bei 4 % der Normalbevölkerung.

Weitere Untersuchungstechniken in der Orthopädie sind Angiographien, optische Vermessungen von Oberflächen (Formabweichungen der Wirbelsäule) und Abstriche von infizierten Wunden zur Austestung von Erregern und wirksamen Antibiotika.

1.4 Haltung des Menschen

R. Wolff, H. Zilch

Eine „gute Haltung“ – gekennzeichnet durch erhobenen Kopf, eingezogenen Bauch, leicht vorgeschobenen Brustkorb und zurückgenommene Schultern – wird oft mit psychischen und physischen Faktoren, wie Lebensbejahung, körperlicher Fitness und harmonischer Körperkontrolle verbunden. Um die Haltung – also die relative Position unterschiedlicher Körperteile zueinander – zu objektivieren, ist eine Bezugsebene bzw. ein Bezugssystem erforderlich. Meist wird hierzu eine transversale Ebene durch den Körperschwerpunkt verwendet. Die Beckeneingangsebene ist geneigt, die geschwungene Wirbelsäule schneidet die Senkrechte durch den Körperschwerpunkt an charakteristischen Punkten. Die Haltung des Menschen wird durch ein Zusammenspiel der Rücken-, Bauch- und Beckenmuskeln reguliert. Schwach ausgebildete Bauchmuskulatur und ein verkürzter M. iliopsoas führen z. B. zu einer vermehrten Beckenkipfung, einer vermehrten kompensatorischen Lendenlordose mit unphysiologischer Belastung der Wirbelgelenke. Die *Statik* ist verändert, nicht nur die der Wirbelsäule, sondern auch die der Hüftgelenke, die in einer unphysiologischen Stellung belastet werden. Die Bauchmuskelschwäche wird verstärkt. Schmerzen in der Lendenwirbelsäule und den Hüften sind häufige Folge dieser Statikstörung.

Die Haltung des Menschen wird also beeinflusst:

1. **Funktionell** durch den Tonus der Muskulatur (Rückenstrecker, Bauch- und Beckenmuskeln). Eine Kräftigung der Muskulatur kann in einfachen Fällen die Haltung verbessern und Rückenschmerzen lindern. Die Bauchhöhle läßt sich mit einem wassergefüllten Gummibehälter vergleichen. Der hydrostatische Druck ist überall gleich. Wird eine Verformung nach lateral und ventral durch entsprechende Kontraktion der Bauchmuskeln verhindert, kann durch diesen „Behälter“ ein Teil des Körpergewichtes getragen werden. Eine entsprechend ausgebildete Bauchmuskulatur ist für die Entlastung der Wirbelsäule also wesentlich.

Auch *Schmerzen* können über bestimmte Rezeptoren Haltungsänderungen bedingen.

Am bekanntesten ist die Bewegungsunfähigkeit der Lendenwirbelsäule mit Steilstellung oder Seitenausbiegung bei akutem Bandscheibenvorfall.

Auch bei Gelenkergüssen nimmt der Patient unwillkürlich eine Schonhaltung ein, die ihm Schmerzerleichterung verschafft: Schmerzentspannungshaltung. Das durch Erguß überdehnte Kniegelenk wird in leichter Beugung gehalten, da das Gelenk in dieser Stellung das größte Volumen aufnehmen

Laboruntersuchungen

Zur Verifizierung von

- Entzündungen (einschließlich Rheuma),
- Tumoren,
- Stoffwechselstörungen.

Haltung des Menschen

Normale Haltung:

- erhobener Kopf,
- eingezogener Bauch,
- Schultern zurückgenommen,
- Lot geht durch den Körperschwerpunkt.

Haltung durch Zusammenspiel der

- Bauch-,
- Rücken-,
- Beckenmuskulatur.

Schwache Bauchmuskeln führen zur Beckenkipfung.

Folge: Kompensatorische Hyperlordosierung der LWS, veränderte Statik
→ Kreuzschmerzen.

Beeinflussung der Haltung

1. Funktionell

- durch Muskeltonus.

Daher:

Kräftigung der Muskulatur führt zur Entlastung der Wirbelsäule.

2. Strukturell

• **komplexe Störungen**

Körperasymmetrien.

• **Achsenfehler**

z. B. Genu varum, valgum, recurvatum.
Achsenaufnahmen des ganzen Beines mit Bestimmung der Mikulicz-Linie (Tragachse).

• **Torsionsfehler**

Innenrotationsgang des Kleinkindes durch vermehrte Antetorsion des Schenkelhalses häufiger als durch Torsion der Tibia.
Bei strukturellen Skoliosen.

• **Längendifferenzen**

angeboren

– partieller Riesenwuchs,

– Tibiahypoplasie,

erworben

– im Kindesalter:

Poliomyelitis, nach Verletzung der Wachstumsfuge, Hüfterkrankungen,

– posttraumatisch:

Folge: Beckenschiefstand, Skoliose.

Unterscheidung zwischen echter, scheinbarer und funktioneller Beinlängendifferenz.

• **Kontrakturen**

Ankylose: erworbene Versteifung

Arthrodese: operative Versteifung

Fibröse Steife: Kapselschrumpfung bei erhaltenem Gelenkspalt.

• **Pathologische Gelenkbeweglichkeit**

Bandlaxität:

angeboren: z. B. Larsen-Syndrom,

erworben: posttraumatisch.

Habituelle Luxation:

gewöhnheitsmäßig ohne adäquates Trauma (Schulter, Patella).

Schlottergelenk:

pathologische Beweglichkeit in allen Ebenen.

kann, die Kapsel und damit ihre Rezeptoren am wenigsten gedehnt werden;

2. durch **strukturelle** (anatomische) Veränderungen.

• **Komplexe Formstörungen** durch Körperasymmetrien oder partiellen Riesenwuchs.

• **Achsenfehler:** Sie erlangen an der unteren Extremität größere Bedeutung. Während eine Coxa vara oder valga als präarthrotische Deformität eine veränderte Statik bedingen, aber kaum sichtbar sind, sind diese am Kniegelenk als Genu varum oder valgum augenfälliger, ebenso das Genu recurvatum mit pathologischer Überstreckbarkeit. Das Ausmaß der Achsenabweichung wird anhand einer Achsenaufnahme des ganzen Beines bestimmt. Die Tragachse (Mikulicz-Linie) verläuft normalerweise durch die Mitte des Hüftkopfes, des Kniegelenkes und des oberen Sprunggelenkes (s. Abb. 231, S. 438).

• **Torsionsfehler:** Eine vermehrte Innendrehung des Unterschenkels gegenüber dem Oberschenkel bedingt einen Innenrotationsgang. Normalerweise beträgt die Torsion der Tibia etwa 25°, d. h. die quere Achse des oberen Sprunggelenkes (OSG) ist im Vergleich zur queren Kondylenachse des Kniegelenkes um 25° nach außen gedreht. Daher muß bei einer exakten Röntgenaufnahme des OSG im a. p. Strahlengang der Unterschenkel um 25° nach innen gedreht werden.

Ein verstärkter Innenrotationsgang wird beim Kleinkind häufiger durch eine vermehrte Antetorsion des Schenkelhalses als durch eine vermehrte Tibiatorsion verursacht. Eine vermehrte Antetorsion des Schenkelhalses ist in diesem Alter physiologisch, er normalisiert sich bis zum 8. Lebensjahr. Daher verliert sich diese Gangstörung bis zu diesem Lebensabschnitt.

An der Wirbelsäule stellt sich bei strukturellen Skoliosen eine Torsion ein.

• **Längendifferenzen:** Diese können angeboren, z. B. beim partiellen Riesenwuchs oder Tibiahypoplasie, oder erworben sein: Poliomyelitis, Verletzung der Wachstumsfuge und Hüftgelenkerkrankungen. Im Erwachsenenalter ist eine posttraumatische die häufigste Ursache.

Die Beinlängendifferenz bedingt einen Beckenschiefstand und eine Seitenausbiegung der Wirbelsäule (Skoliose). Der Patient kompensiert die Fehlhaltung durch eine Spitzfußstellung der verkürzten Seite.

Es muß zwischen einer echten, scheinbaren und funktionellen Beinlängendifferenz unterschieden werden (vgl. 3.8.7).

Kontrakturen bewirken sowohl eine veränderte Haltung als auch ein verändertes Gangbild, z. B. auch durch die o. g. funktionelle Beinverkürzung.

Ankylose: Infolge einer Erkrankung knöchern eingesteiftes Gelenk mit völligem Funktionsverlust.

Arthrodese: iatrogene Gelenkversteifung (operativ)

Fibröse Steife: kapsuläre Schrumpfung mit Einsteifung des Gelenkes bei röntgenologisch weitgehend erhaltenem Gelenkspalt. (Differentialdiagnose der Kontrakturen s. 2.11).

Pathologische Gelenkbeweglichkeiten verursachen Haltungs- und Gangstörungen.

Eine Bandinsuffizienz kann angeboren (z. B. angeborene Knieluxation beim Larsen-Syndrom) oder erworben (posttraumatisch) bedingt sein.

Von einer **habituellen** Luxation spricht man, wenn ein Gelenk gewohnheitsmäßig verrenkt wird, d. h. ohne ein adäquates Trauma (Schultergelenk, Knie-scheibe).

Ein **Schlottergelenk** läßt eine pathologische Bewegung in alle Richtungen zu, z. B. am Kniegelenk in sagittaler und frontaler Ebene.

Eine generalisierte Überstreckbarkeit findet sich beim Ehlers-Danlos-Syndrom.

Haltungsschwäche: Haltungsinsuffizienz mit unzureichendem funktionellem Haltungsmuster: Rundrücken, verstärkte Lendenlordose, Beckenkipfung, vorgezogener Schultergürtel. Wird vermehrt bei Jugendlichen beobachtet.

Haltungsfehler: Funktionell bedingte Fehlhaltungen, die wie die Haltungsschwäche ausgleichbar sind (s. Abb. 2).

Rundrücken: großbogige kyphotische Einstellung der Wirbelsäule.

Hohlrunder Rücken: verstärkte Brustkyphose, verstärkte Lendenlordose.

Flachrücken: Abflachung aller Krümmungen.

Bei den Haltungsfehlern ist eine Tendenz zur Fixierung, d. h. zu einer Fehlform, gegeben.

Haltungsfehlformen: Strukturell bedingte Verkrümmungen, die aktiv nicht mehr ausgleichbar sind.

Skoliosen: Seitenausbiegung der Wirbelsäule in der Frontalebene.

Kyphosen: arkuäre Form bei Morbus Scheuermann, Spondylitis ankylosans, Osteoporose,
anguläre Form: nach Entzündungen, z. B. Tbc, posttraumatisch mit Ausbildung eines Keilwirbels.

1.5 Ganganalysen

R. Wolff

Durch Gang- und Bewegungsanalysen wird versucht, strukturelle und funktionelle Veränderungen des Bewegungsapparates zu erfassen. Zunächst muß der Bewegungsablauf von spezifischen Bevölkerungsgruppen charakterisiert werden, um Normwerte zu erfassen. Ferner sind Kriterien zu ermitteln, die eine Unterscheidung zwischen einem normalen und pathologischen Gangbild ermöglichen. Die Ganganalyse von Patienten soll schließlich ermöglichen, Krankheitsbilder zu diagnostizieren, Behandlungsmethoden zu empfehlen und den Erfolg einer Therapie bzw. die Funktion einer Orthese oder Prothese zu kontrollieren.

Das Gangbild variiert auch bei der Normalbevölkerung erheblich, so daß z. Zt. hauptsächlich Vergleichswerte ermittelt werden. Die potentiellen Möglichkeiten für die klinische Diagnostik lassen sich erst in der Zukunft ausschöpfen. Voraussetzung einer klinisch akzeptablen Ganganalyse sind:

1. Die gemessenen Parameter müssen mit den funktionellen Abweichungen korrelieren,
2. die Daten sollten nicht auch durch eine einfachere klinische Untersuchung zu erfassen sein,
3. Die Meßmethode muß empfindlich genug sein, um auch geringe funktionelle Veränderungen zu erfassen. Die Meßaufnehmer dürfen dabei den Bewegungsablauf nicht verändern.
4. Die Daten müssen reproduzierbar sein und eine zusammenfassende Bewertung ermöglichen.

Zur Überprüfung des Gangbildes dient eine instrumentierte Gehstrecke. Charakteristische Größen sind Schrittlänge und Schrittfrequenz. Das erste Aufsetzen des Fußes (Kontaktpunkt ist beim normalen Gehen die Ferse) kennzeichnet den Beginn eines Gangzyklus, der erneute Bodenkontakt desselben Fußes sein Ende. Jedes Bein hat eine Stand- und eine Schwingphase: die Standphase nimmt 60 % des Gangzyklus ein, die Schwingphase 40 %. Kurzfristig haben beide Füße gleichzeitig Bodenkontakt (10 %). Der Körper-

Haltungsschwäche

Haltungsinsuffizienz der Muskulatur

- Rundrücken, vorgezogene Schultern,
 - verstärkte Lendenlordose, Beckenkipfung,
- voll ausgleichbar.

Haltungsfehler

Funktionelle Fehlhaltung

Rundrücken,
hohlrunder Rücken,
Flachrücken.

In der Jugend ausgleichbar, aber

- Tendenz, in Fehlform überzugehen.

Haltungsfehlform

strukturell bedingte Fehlform, aktiv nicht ausgleichbar.

Skoliosen (Seitenausbiegung)

Kyphosen

- arkuär: Morbus Scheuermann, Spondylitis ankylosans, Osteoporose,
- angulär: posttraumatisch, nach Entzündung (Keilwirbel).

Ganganalysen

Erfassung von funktionellen Veränderungen des Bewegungsapparates.

- Normales,
 - pathologisches Gangbild.
- Erfolgskontrolle bei Orthesen- und Endoprothesenversorgung.

Ganganalyse muß

- valide,
- verlässlich,
- reproduzierbar,
- zumutbar sein.

Ganganalyse, gemessene Parameter:

- Schrittlänge,
- Schrittfrequenz,
- Dauer der Standphase, Schwingphase,
- Bodenreaktionskraft.

Meßmethodik bei der Ganganalyse mit:

- Filmkameras,
- Schaltkontakte an Sohle und Boden,
- Kraftmeßplatte, Lichtschranken,
- Elektrogoniometer.

Ursachen des pathologischen Gangbildes:

- Beinlängendifferenz,
- Kontraktur oder Ankylose,
- Schmerzen,
- Instabilität,
- Lähmung,
- (Ischialgie).

Verkürzungshinken

bei stärkerer Beinverkürzung Spitzfußstellung der verkürzten Seite, Kniebeugung auf gesunder Seite.

Als Extremform des Verkürzungshinkens: Kotau- oder Verbeugungshinken.

Insuffizienzhinken

Trendelenburg-Hinken, watschelndes Gangbild bei Instabilität im Hüftgelenk oder Insuffizienz der Glutealmuskulatur.

Duchenne-Hinken:

Neigung des Oberkörpers zur Standbeinseite, führt zur Druckentlastung des erkrankten Gelenkes.

Schmerzshinken

verminderte Stützphase des erkrankten Beines.

Bei Ankylose des Hüftgelenkes: kompensatorische Mehrbewegung der Lendenwirbelsäule.

Amputation

Unterschenkelamputation: normales Gangbild.
Oberschenkelamputation: verändertes Gangbild.

schwerpunkt bewegt sich auf einer sinusförmigen Kurve in Laufrichtung (Amplitude ≈ 2 cm, in Vertikal- und Horizontalrichtung). Die vertikale Bodenreaktionskraft beim normalen Gang übertrifft das Körpergewicht um etwa 20%. Die Verlaufskurve der Kraft zeigt zwei typische Gipfel (beim ersten Bodenkontakt und beim Abdruck) mit zwischenliegendem Tal. Bei sehr langsamem Gehen flachen die Gipfel ab, beim Rennen wachsen sie bis zum 2,5fachen Körpergewicht an.

Die *Meßmethoden* sind aufwendig. Die Methodik benötigt Filmkameras, Schaltkontakte an Sohlen und Boden, Kraftmeßplatten, Lichtschranken und einen Elektrogoniometer.

Zum pathologischen Gangbild führen:

1. Beinlängendifferenzen (asymmetrisches Gangbild, Verkürzungshinken),
2. Kontraktion oder Ankylosen,
3. Schmerzen bei Belastung (Schmerzshinken),
4. Instabilität (Hüftluxation, Störungen im dynamischen Muskelgleichgewicht durch Muskelsuffizienz oder Muskellähmungen: Trendelenburg-Hinken),
5. Ischialgie, Lumbalgie.

Verkürzungshinken: Leichte Beinverkürzungen werden durch eine Neigung des Beckens ausgeglichen. Bei größeren Differenzen wird eine Spitzfußstellung eingenommen bzw. das Kniegelenk auf der längeren Seite nicht voll gestreckt, eine übermäßige Auf- und Abbewegung des Schwerpunktes beim Gang läßt sich so vermeiden und wird nur bei extremer Verkürzung sichtbar.

Das *Kotauhinken* oder Verbeugungshinken stellt die Extremform bei starker Hüft- und Kniegelenkskontraktur dar mit deutlich wellenförmiger Bewegung des Körperschwerpunktes.

Insuffizienzshinken: Bei einer statischen Instabilität (hohe Hüftdislokation) kann das Becken während der Stützphase nicht stabilisiert werden, es sinkt zur gesunden Seite ab. Es resultiert ein watschelndes Gangbild mit positivem Trendelenburg-Phänomen (s. Abb. 3). Beim Gehen wird der Oberkörper zur Standbeinseite geneigt. Das Duchenne-Hinken dient der Verminderung der Druckbelastung des erkrankten Hüftgelenkes (Entlastungshinken). Eine Insuffizienz der Glutealmuskulatur (Abduktoren) läßt das Becken ebenfalls zur gesunden Seite absinken. Ursachen können z. B. eine Überforderung der Abduktoren bei Hüftdysplasie, Lähmungen oder ein Trochanterhochstand sein.

Schmerzshinken: Kennzeichnend für Schmerzen im Hüftgelenk ist eine verminderte Stützphase (Bodenkontaktzeit) der betroffenen Extremität. Die betroffene Hüfte wird in Schonhaltung gebracht (leichte Flexion, Abduktion und Außenrotation). Beim Gehen werden erst die Zehen aufgesetzt, der Abdruck vom Boden ist schwächer. Beim Vorwärtsschwingen des betroffenen Beines kreist das Becken um das gesunde Standbein, um das außenrotierte kranke Bein in Laufrichtung zu bringen. Beim reinen Entlastungshinken wird in der Stützphase des erkrankten Beines das Becken angehoben und der Schwerpunkt des Körpers dem Hüftgelenk genähert.

Bei einer *Ankylose* oder Kontraktur im Hüftgelenk erfolgt kompensatorisch eine vermehrte Bewegung der Lendenwirbelsäule und der gesunden Hüfte, so daß die Patienten bemerkenswert gut gehen.

Patienten mit *Amputationen* unterhalb des Kniegelenkes entwickeln bei gut angepaßter Prothese ein flüssiges Gangbild, bei Amputationen oberhalb des Kniegelenkes ist das Bewegungsmuster verändert. Eine Streckung im Kniegelenk ist jetzt erst möglich, wenn der Körperschwerpunkt die Gelenkachse überschreitet. Die Stützphase ist insgesamt verkürzt, der Energieverbrauch beim Gehen erhöht.

1.6 Biomechanik

R. Wolff

Aufgabe der Biomechanik ist es, mit den Mitteln der Natur- und Ingenieurwissenschaften Probleme zu lösen, die mit lebenden Systemen in Verbindung stehen. Erste systematische Untersuchungen über Bewegungsabläufe beim Menschen gehen bereits auf Leonardo da Vinci (1452–1519) zurück. Zunehmende Bedeutung und Anerkennung erlangte die Biomechanik Mitte der 60er Jahre mit der Entwicklung und Verbreitung künstlicher Gelenke sowie der zunehmenden internen sowie externen Fixierung von Frakturen. Grundlegende Überlegungen über Kräfte und ihre Auswirkungen auf den Bewegungsapparat veröffentlichte Friedrich Pauwels 1965 in seinen „Gesammelten Abhandlungen zur funktionellen Anatomie des Bewegungsapparates“. Durch technische Fortschritte wurde die Ermittlung und Berechnung von Gelenkkraften möglich. Die Biomechanik beschäftigt sich heute mit:

- Materialeigenschaften (Knochen, Knorpel, Endoprothesen, Osteosynthesematerial),
- Bewegungsanalysen,
- Analyse der Kräfte, die auf Gelenke und das Skelettsystem einwirken,
- biologische Auswirkung von Kräften.

Gerade der letzte Punkt ist kennzeichnend für die *Biomechanik*: Das Verhalten eines starren Körpers gegebener Abmessung und mit bekannten Eigenschaften läßt sich unter der Einwirkung einer definierten Kraft recht gut voraussagen und im Experiment reproduzieren. Die Eigenschaften von Knochen, Sehnen und Muskel sind dagegen individuell recht unterschiedlich – sie hängen u. a. vom Alter und Geschlecht ab. Größe und Richtung der einwirkenden Kräfte sowie ihre Angriffspunkte sind oft nicht bekannt oder nur näherungsweise abzuschätzen. Ferner wirken auf das lebende Gewebe oder die Verankerung einer implantierten Prothese meist submaximale Kräfte über einen langen Zeitraum, der Körper paßt sich in weiten Grenzen an, wobei diese Anpassungsreaktionen auch wieder individuell unterschiedlich sind. Die Kortikalis eines Röhrenknochens kann sich verdicken, zu hohe Kräfteinwirkungen können andererseits zu Resorptionen führen, zu häufige submaximale Kräfteinwirkungen zum Ermüdungsbruch.

Mit einem Marknagel läßt sich oft Belastungsstabilität, mit einer Plattenosteosynthese Übungsstabilität erreichen. Die Anfangsstabilität und die Belastung der Implantate läßt sich recht gut abschätzen. Mit fortschreitender knöcherner Konsolidierung wird die Kraftübertragung zunehmend vom Kno-

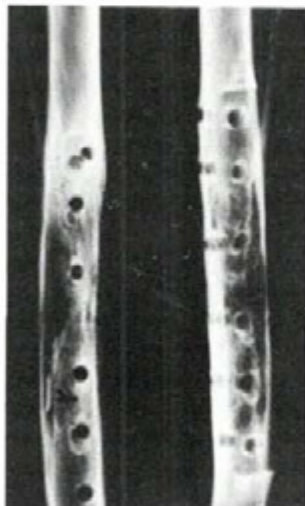


Abb. 8
Knochenatrophie nach Plattenentfernung
infolge Stress-protection

Arbeitsgebiete der Biomechanik

- Prüfung von Materialeigenschaften (Knochen, Knorpel, Prothesen)
- Bewegungsanalysen,
- Kräfteanalysen,
- biologische Auswirkung von Kräften.

Die Biomechanik untersucht die Einwirkung von Kräften auf **lebendes** Gewebe. Lebendes Gewebe kann sich weitgehend adaptieren: z. B. Dickenzunahme des Knochens.

Wird die individuelle Belastungstoleranz überschritten, kommt es beim Knochen zum Ermüdungsbruch.

Stress-protection:

Knochen atrophiert unter einer Osteosyntheseplatte, da er von der Kraftübertragung ausgeschaltet ist. (Abzugrenzen sind lokale Resorptionen infolge von Durchblutungsstörungen.)

Optimierung von Osteosynthesen und Implantaten.

Physikalische Grundbegriffe

Newton-Axiome

$$F = a \cdot m$$

Kraft ist die Ursache einer Bewegungsänderung oder Deformation.

actio = reactio

Kraft ist eine vektorielle Größe, sie ist bestimmt durch:

Richtung,
Richtungssinn,
Betrag,
Angriffspunkt.

Bezugssystem: erforderlich zur Beschreibung von Bewegungen, z. B. Kartesisches System mit drei zueinander senkrechten Achsen.

Internationale Einheiten:

Meter (Länge)
Kilogramm (Masse)
Sekunde (Zeit)

Gleichgewichtsbedingung (statisches Gleichgewicht für starren Körper):

Die Summe aller angreifenden Kräfte und Momente ist Null

$$\sum F_i = 0$$

$$\sum M_i = 0$$

(Moment: vektorielles Produkt aus Kraft und wirksamem Hebelarm.)

chen übernommen, was auch erforderlich ist, um einen Ermüdungsbruch des Materials zu verhindern. Ist die Fraktur durchbaut, atrophiert der Knochen unter einer Osteosyntheseplatte, da er hier entlastet wird (Stress-protection): das Material muß also wieder entfernt werden. Der Knochen ist dann zunächst geschwächt, Schraubenlöcher sind potentielle Ausgangspunkte einer Refraktur (Abb. 8).

Mit Hilfe der Biomechanik lassen sich Abmessung und Lage des Osteosynthesematerials optimieren. Fehlgeschlagene Osteosynthesen sind z. T. durch unzureichende Beachtung mechanischer Grundgesetze erklärbar. Grundsätzlich sind prothetische Versorgung und Osteosynthesen so durchzuführen, daß Biegemomente klein gehalten werden (Valgusstellung einer Femurprothese, mediale Abstützung und Aufrichtung von Schenkelhalsfrakturen). Ferner ist bei Osteosynthesen das Material (Platte, Zuggurtung) so zu platzieren, daß es auf der Dehnungsseite des Knochens liegt und die Fraktur durch die Muskeln, die über diese Fraktur ziehen, zusätzlich komprimiert wird. Druckkräfte und mechanische Ruhe begünstigen die knöcherne Konsolidierung, erhebliche Scher- und Biegekräfte sowie übermäßige Bewegung führen zur Pseudarthrose.

Die Bedeutung biomechanischer Überlegungen in der Orthopädie soll an einigen Beispielen erläutert werden, vorher seien einige Grundbegriffe der Mechanik wiederholt:

Newton-Gesetz:

1. Jeder Körper beharrt im Stadium der Ruhe oder gleicher Geschwindigkeit, wenn dieser Zustand nicht durch Einwirkung einer äußeren Kraft verändert wird. Damit ergibt sich folgende Definition: *Kraft* ist die Ursache einer Bewegungsänderung (bzw. Deformation).
2. Die Bewegungsänderung (Beschleunigung) eines Körpers ist seiner Masse und der einwirkenden Kraft direkt proportional und erfolgt in Richtung der angreifenden Kraft.
3. Die gegenseitige Kraftwirkung zweier Körper aufeinander ist immer von gleicher Größe und entgegengesetzter Richtung (actio = reactio).

Die Kraft ist eine vektorielle Größe, d. h. sie ist durch Richtung, Betrag, Richtungssinn sowie ihren Angriffspunkt festgelegt. Sie kann vektoriell in ihre Komponenten zerlegt werden.

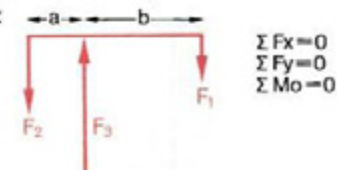
In der Biomechanik sind äußere Kräfte, wie z. B. Schwerkraft, Bodenreaktionskraft, von inneren Kräften, die z. B. von Muskeln und Sehnen auf die Gelenke ausgeübt werden, zu unterscheiden. Innere Kräfte wirken ferner zwischen Prothese und Knochen bzw. Zement und Knochen.

Um Bewegungen zu beschreiben, ist ein Bezugssystem erforderlich. Es kann ein übliches kartesisches Koordinationssystem (X-, Y-, Z-Achse senkrecht zueinander angeordnet) sein, das sich mit dem zu untersuchenden System bewegen oder von ihm unabhängig sein kann.

Alle Meßwerte sind mit Einheiten zu versehen, wobei die hier benötigten Grundeinheiten Meter (m), Sekunde (s) und Kilogramm (kg) sind (SI-Einheiten). Normierungen – Beziehung der Kraft auf das Körpergewicht, einer Schrittlänge auf die Beinlänge – sind anzustreben.

Fallen Körperschwerpunkt und Angriffspunkt der Kraft nicht zusammen, so wird ein freier Körper nicht nur beschleunigt, sondern auch gedreht. Es wirkt ein Moment, das Produkt aus Kraft und wirksamem Hebelarm (er ist senkrecht zur Kraft gerichtet).

Ein starrer Körper ist im statischen Gleichgewicht, wenn die Summe aller angreifenden Kräfte und Momente Null ist:



Diese drei Grundgleichungen sind erforderlich, um unbekannte innere Muskelkräfte über bekannte äußere Reaktionskräfte zu berechnen. Mit diesen drei Gleichungen lassen sich jedoch nur drei unbekannte Größen ermitteln. Bei der Belastungsanalyse menschlicher Gelenke überschreitet die Anzahl einwirkender Muskelkräfte sowie der zusätzlich wirkenden Kräfte des Kapsel-Bandapparates stets die Anzahl der zur Verfügung stehenden Gleichungen. Auch sind die Angriffspunkte der Muskeln meist nur angenähert bekannt, es sind daher immer vereinfachende Annahmen zu treffen und letztlich nur semiquantitative (abschätzende) Aussagen möglich. Bei der Betrachtung eines Gelenkes ist ferner die Anzahl seiner Freiheitsgrade – d. h. die Anzahl der voneinander unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten – zu berücksichtigen. Ein Scharniergelenk hat 1 Freiheitsgrad (Rotation um die X-Achse), ein freier Körper 6 (Rotation um X-, Y-, Z-Achse sowie Translation in X-, Y-, Z-Richtung), ein Kugelgelenk 3 (Rotation um X-, Y-, Z-Achse).

Bei vielen biomechanischen Abschätzungen wird die Anzahl der Freiheitsgrade begrenzt, das Kniegelenk z. B. vereinfacht als Scharniergelenk angesehen, obwohl bei Beugung und Streckung tatsächlich gleichzeitig eine Rotations- und Translationsbewegung stattfindet.

Mit den bisherigen Ausführungen lassen sich bereits Aussagen über die Belastung von Gelenken machen:

Kräfte lassen sich vektoriell addieren (Parallelogramm der Kräfte; Abb. 9). Bei gleichbleibender Kraftentwicklung des M. quadriceps femoris wächst die resultierende Kraft auf das retropatellare Gleitlager mit zunehmender Kniebeugung an. Patienten mit einer Chondropathia patellae geben Schmerzen beim Treppensteigen und -herabgehen an: der M. quadriceps femoris muß hier vermehrte Kraft entwickeln, das Kniegelenk ist gegenüber dem normalen Gang vermehrt gebeugt, die Kraftwirkung auf das Femoropatellargelenk ist erhöht. (Entscheidend ist eigentlich nicht die Kraft F , sondern der Druck $p = \frac{F}{A}$ auf das Gelenk). Bei obiger Überlegung wird angenommen, daß die Kontaktfläche A zwischen Patella und Femurkondylen bei zunehmender Beugung konstant bleibt, was tatsächlich nicht der Fall ist.). Bei entsprechender Symptomatik sollten also tiefe Kniebeugen vermieden werden.

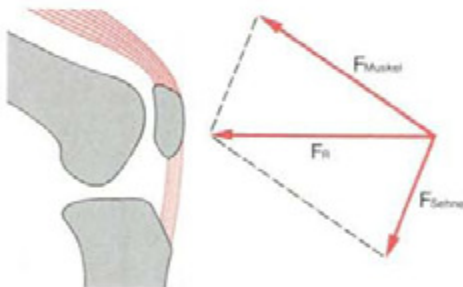


Abb. 9 Druckbeanspruchung des femoropatellären Gleitlagers, über Vektoren berechenbar

Aus Abbildung 10 ergibt sich die Kraft F_A , die die Wadenmuskulatur eines 700 N schweren Menschen entwickeln (überschreiten) muß, wenn er sich auf die Zehenspitzen stellen will. Die Bodenreaktionskraft F_B muß gleich dem Körpergewicht sein, die wirksamen Hebelarme werden $a = 6$ und $b = 15$ cm angenommen:

$$F_B \cdot b = F_A \cdot a$$

$$F_A = \frac{15}{6} F_B = 2,5 F_B$$

Belastungsanalyse menschlicher Gelenke: Es sind nur semiquantitative Aussagen möglich, da die Anzahl der Variablen die Anzahl der zur Verfügung stehenden Gleichungen überschreitet.

Freiheitsgrade eines Gelenkes = Anzahl voneinander unabhängiger Bewegungsmöglichkeiten.

Scharniergelenk: 1 Freiheitsgrad,

Kugelgelenk: 3 Freiheitsgrade (z. B. Hüfte).

Bei zunehmender Beugung im Kniegelenk wächst der retropatellare Anpreßdruck. Bei einer Chondropathia sind also Beugungen über 90° zu vermeiden – ebenso bei Tendopathien.

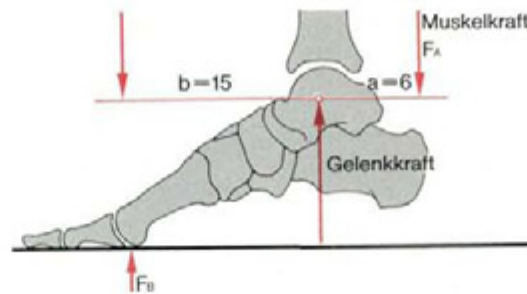


Abb. 10 Berechnung der Kraft der Wadenmuskulatur beim Zehenstand

Zum Abheben der Ferse muß die Wadenmuskulatur also eine Kraft entwickeln, die einem mehrfachen des Körpergewichts entspricht. Auf das Sprunggelenk wirkt dabei die Summe der Kräfte von F_A und F_B .

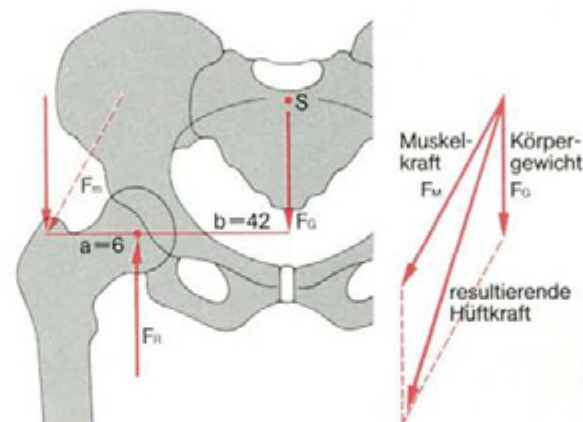


Abb. 11 Berechnung der Krafteinwirkung auf das Hüftgelenk

Zum Abschluß wird die Kraftwirkung auf das Hüftgelenk (F_R) abgeschätzt (Abb. 11). Vereinfacht sollen nur drei Kräfte auf das Becken wirken: das Körpergewicht F_G (abzüglich Gewicht des Standbeines), die Kraft der Abduktoren, die ein Abkippen des Beckens verhindern (F_A = Vertikalkomponente dieser Kraft) und die Reaktionskraft F_R (Vertikalkomponente) auf das Hüftgelenk durch das geometrische Zentrum des Azetabulums. F_G greift im Körperschwerpunkt an, sein Abstand vom Drehpunkt sei b . a ist der wirksame Hebelarm der Abduktoren. Im Gleichgewicht gilt:

$$\begin{aligned} \sum M &= 0 \\ \sum F &= 0 \\ F_G + F_R + F_A &= 0 \\ F_R &= -F_A - F_G \\ \text{mit } b \cdot F_G &= a \cdot F_A \\ F_R &= \frac{b}{a} F_G = F_G \\ F_R &= \frac{12}{6} \cdot 700 + 700 = 2100 \text{ N} \end{aligned}$$

Beim Einbeinstand wirkt auf das Hüftgelenk das 2,5- bis 3fache des Körpergewichts. Beim Lauf und Sprung addieren sich zusätzliche Beschleunigungskräfte!

Diese sehr vereinfachende Rechnung zeigt, daß auf das Hüftgelenk beim Einbeinstand das 3fache Körpergewicht einwirkt. Beim Gang bzw. schnellen Lauf addieren sich Beschleunigungs- bzw. Bremskräfte. Lehnt sich der Patient auf die Seite des Standbeines, werden der Abstand zwischen Schwerpunkt und Hüftgelenk verringert, der Hebelarm b verkleinert, die für das Gleichgewicht erforderliche Kraft der Abduktoren und damit die Belastung des Hüftgelenkes herabgesetzt (Duchenne-Hinken).

Die Kraftwirkung beim Gehen beträgt – in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit – etwa:

- Hüftgelenk: 4- bis 7faches Körpergewicht,
- Kniegelenk: 3,5- bis 6faches Körpergewicht,
- Sprunggelenk: 2,2- bis 4,8faches Körpergewicht.

Die mittlere Kontaktfläche zwischen Femurkopf und Azetabulum liegt bei 27 cm², der Druck beim Gehen beträgt für einen 700 N schweren Menschen also etwa $p = \frac{4 \times 700}{2700} = 1 \text{ N/mm}^2$. Für die Belastung der Gelenke der

unteren Extremität tragen die Muskelkräfte der über das Gelenk ziehenden Muskelgruppen, die den äußeren Kräften das Gleichgewicht halten, mehr bei als das eigentliche Körpergewicht!

Die *Gesamtbelastung* eines Gelenkes läßt sich durch die Vergrößerung des Hebelarmes eines Muskels vermindern. An der Hüfte wird dieses Ziel durch eine Varisierungsosteotomie erreicht: der Hebelarm der Abduktoren wird verlängert, sie benötigen weniger Kraft zur Stabilisierung des Beckens, die Gesamtbelastung des Gelenkes wird herabgesetzt. Eine Valgisierung verkürzt den Hebelarm, die Abduktoren müssen entsprechend mehr Kraft entwickeln, die Belastung der Hüfte wird größer. Ohne zusätzliche Eingriffe (Tenotomien) kann also die Beanspruchung des Hüftgelenkes nach einer derartigen Operation – trotz evtl. vergrößerter Kontaktfläche – vermehrt sein.

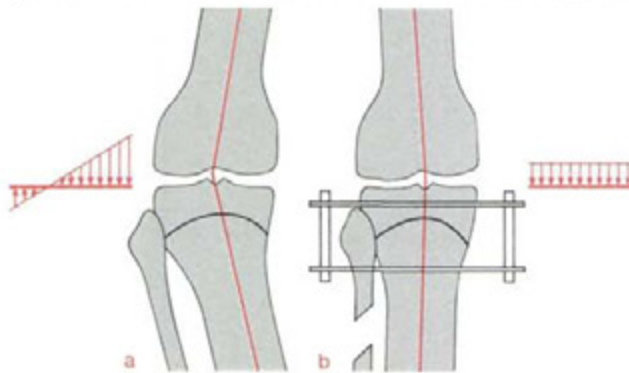


Abb. 12 Kraftvektor auf das Tibiaplateau bei Genu varum (a) und nach Korrekturosteotomie (b)

Die Belastung eines Gelenkes läßt sich ferner durch eine Vergrößerung der gewichttragenden Fläche ($p = \frac{F}{A}$) herabsetzen, durch Umstellungen läßt sich eine gleichmäßige Kraftverteilung erzielen. Bei einer Varusdeformität des Kniegelenkes wird hauptsächlich das mediale Tibiaplateau belastet. Nach einer *Umstellungsosteotomie* verläuft der resultierende Kraftvektor durch die Mitte des Kniegelenkes, die Lastverteilung erfolgt gleichmäßiger (Abb. 12). Bei leichteren Formen der Hüftdysplasie läßt sich durch eine intertrochantäre Varisierungsosteotomie eine bessere Überdachung des Hüftkopfes erreichen (eine gute Kongruenz zwischen Kopf und Pfanne ist dabei vorauszusetzen). Der zu erwartende Operationseffekt kann durch eine vorherige Röntgenaufnahme in Abduktionsstellung der Beine überprüft werden. Die resultierende günstige Veränderung der Muskelhebelarme wurde bereits erwähnt.

Eigenschaften von Osteosynthese- und Prothesenmaterial

Wirkt auf eine Feder die Kraft F , so ist nach dem Hook-Gesetz die Verlängerung l der Größe dieser einwirkenden Kraft direkt proportional:

$$F = E \cdot l$$

E ist dabei ein Proportionalitätsfaktor, der eine Aussage über die Materialeigenschaft dieser Feder macht.

Druckbelastung im Hüftgelenk beim Gehen:
 $\approx 1 \text{ N/mm}^2$.

Belastung eines Gelenkes läßt sich reduzieren durch

1. Veränderung des Körpergewichts,
2. Veränderung der Hebelarme,
3. Veränderung der kraftübertragenden Fläche.

Eigenschaften von Osteosynthese- und Prothesenmaterial

Ideal elastisches Verhalten: Spannung δ und Dehnung ϵ sind direkt proportional

$$\delta = E \cdot \epsilon$$

E = Elastizitätsmodul

Elastizitätsmodul unterschiedlicher Materialien



Die Belastbarkeit einer Osteosyntheseplatte oder einer Prothese hängt vom Querschnitt ab, genauer: von der Geometrie und Massenverteilung bezogen auf die Biegeachse (Flächenträgheitsmoment).

Biomechanik in der Endoprothetik:

- Analyse der Gelenkmechanik,
- Analyse von Materialeigenschaften,
- Konstruktion der Gelenkprothese,
- Test der Prothese im Labor,
- Ganganalysen.

Prothesentypen:

- verblockt (formschlüssig, constraint),
- teilverblockt,
- unverblockt (kraftschlüssig, unconstrained).

Formschlüssige Prothesen

Stabilität durch Prothesenkonstruktion, hohe Beanspruchung der Verankerung. Beispiel: Prothese mit Scharniergelenk (Guepar-Knie).

Für ein ideal elastisches Verhalten gilt, daß Spannung $\delta = \frac{F}{A}$ und Verformung $\epsilon = \frac{\Delta l}{L}$ eines Körpers mit dem Querschnitt A und der Länge L einander proportional sind

$$\delta = E \cdot \epsilon$$

$$\frac{F}{A} = E \cdot \frac{\Delta l}{L}$$

Der Proportionalitätsfaktor E heißt Elastizitätsmodul (Einheit N/mm²). Er ist ein Maß für den Widerstand, den ein elastischer Körper seiner Deformierung entgegensetzt. Der Elastizitätsmodul einiger in der Orthopädie verwendeter Werkstoffe beträgt:

Stahllegierungen	E (N/mm ²)	Anwendung
(Fe-Cr-Ni-Mo)	0,20 × 10 ⁶	Osteosynthesematerial
CO-CR-Legierung	0,22 × 10 ⁶	Prothesen
TI-6Al-4V	0,11 × 10 ⁶	Prothesen
AL ₂ O ₃ -Keramik	0,38 × 10 ⁶	Prothesen
Polyäthylen	1,4 × 10 ³	Prothesen (Pfanne)
Knochenzement	2,8 × 10 ³	
Knochen (Kortikalis)	0,01 × 10 ⁶	

Die verwendeten Stahllegierungen (Fe-Cr-Ni-Mo Schmiedestahl) bestehen zu 17–20% aus Cr, zu 10–14% aus Ni, 2–4% aus Mo und weniger als 0,08% C (Rest: Fe). Ti-6Al-4V: 5,5–6,5% Al, 4,5% Vanadium.

Co-Cr-Mo-Legierung (gegossen): 63–70% Co, 25–30% Cr, 5–7% Mo, geringe Verunreinigungen durch Mn, Ni, Fe, C (Verarbeitung teuer, aber gutes Korrosionsverhalten).

Bei der Implantation von Endoprothesen werden also Materialien unterschiedlicher Elastizität und Steifigkeit (Knochen-Zement-Prothese) miteinander verbunden und unterschiedlich belastet.

Wirkt auf einen einseitig fixierten Stab ein Moment, so biegt er sich. Das Material auf der konvexen Seite steht unter Spannung, auf der konkaven Seite herrscht Druck. Entlang der neutralen Achse sind Druck und Längenänderung Null. Die Verformung hängt von der Belastung, dem Elastizitätsmodul und dem Profil des Stabes ab. Ein Maß für den profilabhängigen Verformungswiderstand ist das sog. Flächenträgheitsmoment; es hängt von der Geometrie und Massenverteilung – bezogen auf die Biegeachse – ab. Bei gleicher einwirkender Kraft und gegebenem Materialvolumen ist ein \perp -förmiges Profil belastbarer als ein O-förmiges oder □-förmiges. Diese Erkenntnisse werden z. B. bei der Formgebung von Marknägeln berücksichtigt.

Manche Materialien, wie Kunststoffe und auch Metalle, zeigen bei höheren Temperaturen ein zeitabhängiges Spannungs-Dehnungsverhalten: Sie verformen sich auch dann weiter, wenn die einwirkende Kraft konstant bleibt (plastische Deformierung, Kriechverhalten). Polyäthylenmaterialien (z. B. Hüftpfanne) müssen daher eine ausreichende Dicke haben und dürfen nicht zu hoch belastet werden. Metallarmierungen verbessern die Belastbarkeit.

Bedeutung der Biomechanik für die Endoprothetik:

1. Analyse der normalen und pathologischen Gelenkmechanik,
2. Analyse von Materialeigenschaften,
3. Konstruktion eines Gelenkes (unter Berücksichtigung der vorherigen Punkte),
4. Test im Labor,
5. Objektivierung funktioneller Ergebnisse nach klinischer Erprobung, Fehleranalyse.

Zunächst ist die Größe und Verteilung der auf das Gelenk wirkenden Kräfte (Kinetik) abzuschätzen, um sicherzustellen, daß die Prothese die zu erwartenden Belastungen toleriert. Ist die Prothese *formschlüssig* (verblockt),

d. h. wird die Stabilität allein durch ihre Formgebung und Konstruktion gewährleistet (Scharniergelenk), so wird die Verankerung stärker beansprucht als bei *kraftschlüssigen* (unverblockten) Prothesen, wo über Bänder und Muskelkraft die Gelenkführung erreicht wird. Der alleinige Oberflächenersatz (Schlittenprothese am Kniegelenk) bietet geringere Gelenkstabilität, die Verankerung an den Grenzflächen Prothese/Knochen bzw. Zement/Knochen wird aber weniger belastet, so daß dieser Prothesentyp vorzuziehen ist.

Die verwendeten Materialien sollen gute *tribologische Eigenschaften* (Reibung, Abrieb, Schmierung) haben, sie müssen körperverschleißfest und korrosionsbeständig sowie ausreichend stabil sein. Für Dauerimplantate (Prothesen) werden Titan, Stahl, Kobalt-Chrom-Legierungen, hochmolekulare Kunststoffe (Polyäthylen) und Keramikwerkstoffe (Bioglas, Al_2O_3 -Keramik) verwendet. Titan ist relativ leicht, jedoch nicht so stabil wie die anderen metallischen Werkstoffe. Kobalt-Chrom-Legierungen sind sehr hart, die Herstellung ist schwierig, der Abrieb aber sehr gering.

Keramik ist spröde, aber ausgezeichnet körperverschleißfest und zeigt ebenfalls geringen Abrieb (Keramikkopf gegen Keramikpfanne bzw. Keramikkopf gegen Kunststoffpfanne). Günstige Materialkombinationen mit guten Gleiteigenschaften (*low-friction*) sind Polyäthylen gegen Kobalt-Chrom-Legierung, Keramik gegen Keramik oder Keramik gegen Polyäthylen.

Die Formgebung der Prothese muß ein ausreichendes Bewegungsausmaß erlauben, sollte eine nur geringe Resektion von Knochen und Weichteilgewebe bei der Implantation erfordern und eine sichere Fixation im Knochen garantieren.

Im Labor läßt sich die Stabilität der Prothese und ihrer Verankerung durch zyklische Belastungen mit Prüfmaschinen testen (erforderlich sind über 1 Millionen Belastungszyklen), ebenso Korrosion, Reibung und Abrieb. Inadäquates Material, Verarbeitungsfehler oder schlechte Formgebung können Ursache von Fehlern sein, eine falsch dimensionierte Polyäthylenkomponente kann sich plastisch deformieren (daher erfolgt häufig eine zusätzliche Metallarmierung). Bei der klinischen Anwendung ist die korrekte Position (Valgusstellung der Hüftprothese, richtige Platzierung eines Kniegelenkes) und die technisch richtige Verankerung für das Langzeitergebnis entscheidend. Bei Nachuntersuchungen sind ausreichendes passives und aktives Bewegungsausmaß, Gelenkstabilität und Stabilität der Verankerung Kriterien für den Erfolg. Die verwendete Untersuchungstechnik muß einfach, valide, reliabel und reproduzierbar sein.

Die Bedeutung der Biomechanik kann hier nur angedeutet und an einigen Beispielen stark vereinfacht erläutert werden. Von der hier betrachteten groben Gelenkbewegung sind die tatsächlichen Bewegungen der Gelenkoberflächen zueinander zu unterscheiden, die letztlich für Reibung und Abrieb entscheidend sind. Die drei Grundformen der Oberflächenbewegung lassen sich an einer Walze auf einer Ebene veranschaulichen: Die Walze kann auf der Oberfläche gleiten ohne sich zu drehen (*sliding*); die Walze kann sich drehen, wobei der Kontaktpunkt auf der Ebene unverändert bleibt (*spinning*, z. B. bei einem Scharniergelenk) und die Walze kann auf der Ebene abrollen (*rocking*). Beim letzten Beispiel sind Reibung und Abrieb minimal.

Die Bedeutung der Prothesenposition veranschaulicht Abbildung 13.

Das Biegemoment bei einer Prothese mit kurzem Hals und Valgusstellung ist gering. Fällt die Zementunterstützung proximal am Prothesenaufsatz fort (Lockerung), wird die mediale Abstützung nach distal verlagert. Das Biegemoment ist durch den längeren Hebelarm vergrößert. Da der Prothesenquerschnitt distal abnimmt, nimmt die Materialbeanspruchung erheblich zu: ein Ermüdungsbruch ist die mögliche Folge.

Duokopfprothese, biopolare Prothese: Ein relativ kleiner Prothesenkopf artikuliert in einer kugelförmigen Polyäthylenkappe vom Durchmesser des zu

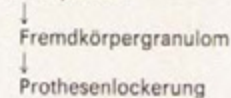
Kraftschlüssige Prothesen

Stabilisierung der Prothese durch Bandstrukturen und Muskulatur. Geringe Beanspruchung der Verankerung, daher bessere Voraussetzung für dauerhafte Verankerung. Voraussetzung: stabiler Bandapparat.

Tribologische Eigenschaften

– Reibung, Abrieb, Verschleiß

Abriebpartikel



Low-friction (Charnley):

Prinzip der geringen Reibung zwischen den artikulierenden Materialien, z. B. Metall
 → Polyäthylen, Keramik → Keramik, Keramik
 → Polyäthylen.

Geringe Belastung einer Hüftprothese bei
 – Implantation in Valgusstellung,
 – kurzem Prothesenhals.

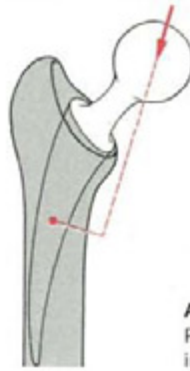


Abb. 13
Prothesenposition
in ungünstiger Varusposition

ersetzenden Hüftkopfes. Die „Kappe“ kann von einer Metallschicht überzogen sein. Die primäre Artikulation erfolgt im inneren kleinen Kugelgelenk, die sekundäre zwischen Polyäthylen- bzw. Metallkappe und Gelenkknorpel. Scherkräfte zwischen Metall und Knorpel werden reduziert, da die Hauptbewegung im inneren Gelenk erfolgt. Die Druckbelastung auf das Acetabulum – und damit die Gefahr der Protrusion – wird durch den größeren äußeren Schalendurchmesser möglichst klein gehalten. Das Bewegungsausmaß ist größer als bei einer konventionellen Kopfprothese.

Behandlungsmethoden

Medikamente

Antirheumatika

- analgetisch,
- antiphlogistisch wirkende,
- Chondroprotektiva
(Förderung der Biosynthese von Knorpelgrundsubstanz).

Myotonolytika

Antibiotika

Perioperative/postoperative Prophylaxe ggf. bei Endoprothesenimplantation indiziert.
Osteitis/Osteomyelitis:
zusätzliche Gabe nach chirurgischer Herdsanierung, evtl. lokal in Form von Gentamycin-Knochenzementkugeln.

1.7 Behandlungsmethoden

R. Wolff, H. Zilch

1.7.1 Medikamente

In der Orthopädie werden zur Arthrosebehandlung häufig *analgetisch* und *antiphlogistisch wirkende Substanzen (Antirheumatika)* sowie Kortison-Präparate als Injektionen eingesetzt. Behandelt werden letztlich nur Symptome: Knochenheilung, Formabweichungen und degenerative Veränderungen lassen sich mit Medikamenten nicht positiv beeinflussen. Die intraartikuläre Applikation von Knorpelaufbaupräparaten (Chondroprotektiva) soll die Knorpelregeneration bei beginnender Chondromalazie fördern. Die Wirkung dieser Substanzen ist im Tierversuch nachgewiesen, die klinische Wirksamkeit beim Menschen ist jedoch noch nicht gesichert.

Präparate:

- Arteparon[®] (Glykosaminoglykanpolysulfat),
- Arumalon[®] (Glykosaminoglykan-Peptid-Komplex),
- Dona 200 S[®] (D-Glukosaminsulfat),
- Ney Arthros[®] (Organextrakte).

Die Substanzen wurden meist in Form von insgesamt 8 bis 10 intraartikulären Injektionen 2mal wöchentlich verabreicht (vgl. Kap. 2.7.1.1, S. 225).

(Bei einigen Präparaten ist die i. a. Injektion nicht mehr zulässig, bei anderen wird die Indikationsstellung überprüft – mögliche Nebenwirkungen!)

Die sog. Chondropathia patellae des Jugendlichen bessert sich in einem hohen Prozentsatz auch ohne jede Therapie.

Antibiotika werden bei Knochen- und Weichteilinfektionen nach Austestung der Erreger intravenös verabreicht. In den schlecht durchbluteten nekrotischen Knochenabschnitten oder Sequestern – sie unterhalten die Entzündung – wird die notwendige Hemmkonzentration meist nicht erreicht, so daß chirurgische Herdsanierungen Voraussetzung für den Erfolg sind. Die perioperative Antibiotikabgabe bei der Implantation von Endoprothesen

scheint die Infektionsrate zu senken, gleiche Ergebnisse sind jedoch mit Reinraumkabinen zu erreichen. Häufig erfolgt eine Beimischung zum Knochenzement bei Prothesenauswechslung (Refobacinpalacos®).

Bei der Tumorbehandlung werden *Chemotherapeutika* nach festgelegten Protokollen verwendet, bei Tbc Tuberkulostatika in üblicher Kombination.

Die Altersosteoporose läßt sich durch langfristige Gabe einer Kombination von Fluor- und Calciumionen beeinflussen (evtl. zusätzliche Gabe von Anabolika, Schmerzbeeinflussung durch Calcitonin).

Problematisch bleibt weiterhin die medikamentöse Beeinflussung des Morbus Sudeck: eine Kombination von Antiphlogistika, Antidepressiva (Beeinflussung der psychischen Komponente), Calcitonin und einem Präparat, das die Durchblutung fördert (Hydergin), wird z. Zt. meist angewandt, evtl. auch Magnetfeldtherapie.

Die Störungen des Knochenstoffwechsels beim Morbus Paget werden meist mit Diphosphonat und Calcitonin behandelt. Calcitonin hemmt die Aktivität der Osteoklasten, was zu einer Osteolysehemmung und sekundären Osteoblastendämpfung führt. Als Neuropeptid hat es außerdem positiven Einfluß auf Schmerzsymptome. Ob sich auch periartikuläre Verkalkungen nach Hüftendoprothesen mit Diphosphonat dauerhaft beeinflussen lassen, ist umstritten.

Auf die speziellen Probleme bei der Behandlung des *rheumatischen Formenkreises* (Basismedikamente für Langzeittherapie: Goldsalze, D-Penicillamin, Antimalariamittel, Immunsuppressiva, Chininderivate) soll hier nur hingewiesen werden.

Peripher wirksame *Analgetika* und *nicht steroidale Antiphlogistika*: Sie sind kurzfristig zur Behandlung von Schmerzen und Schwellungen indiziert, insbesondere, wenn der Patient notwendige postoperative Bewegungsübungen sonst nicht tolerieren würde. Übelkeit und Magenbeschwerden lassen sich durch einen Wechsel des Präparates i. a. beseitigen. Nicht steroidale *Antirheumatika* bewirken über die Prostaglandinhemmung eine verminderte Detritusphagozytose, dadurch eine geringere Freisetzung lysosomaler Enzyme. Ob der Knorpelstoffwechsel insgesamt eher positiv oder negativ beeinflusst wird, gilt noch als umstritten.

Die *Emboliegefahr* operierter Patienten läßt sich durch Thromboseprophylaxe mit Heparinpräparaten (2–3× täglich 5000 I. E. Heparin bzw. Heparin-Dihydrat-Substanzen oder 1× täglich niedermolekulares Heparin) herabsetzen. Eine vermehrte Blutungsneigung besteht nicht.

Hämatome und Distorsionen werden gerne mit *Salben* (Heparin, Nikotinsäure) behandelt. Sie haben im wesentlichen einen psychologischen Effekt, Hautrötung und Überwärmung sind nur Zeichen einer Hautreizung mit reaktiver Mehrdurchblutung – kein Beweis einer Tiefenwirkung. Nur wenige Substanzen (z. B. DMSO, Dimethylsulfoxid) können die Hautbarriere überwinden.

Muskelrelaxanzien: Ihr Indikationsgebiet liegt bei schmerzhaften Muskelverspannungen (Schulter- und Nackenmuskulatur, Rückenmuskulatur bei Lumbalgie). Nach wirksamen Dosen klagen die Patienten oft über Müdigkeit.

Cortison: Eine 2- bis 3malige Injektion ist bei Insertionstendopathien und Bursitiden im Schulter- und Ellenbogenbereich sowie am Ursprung der Aduktoren gerechtfertigt (meist in Kombination mit einem Lokalanästhetikum). Kortison unterdrückt wirksam entzündliche Reaktionen des Gewebes, behindert aber auch regenerative und reparative Vorgänge, erhöht also die Rupturgefahr hochbelasteter Sehnen. Im Bereich der Achillessehne und des Lig. patellae sollten diese Präparate daher nicht verwendet werden. Intraartikuläre Injektionen sind ebenfalls nur selten gerechtfertigt (Infektionsrisiko). Bei häufiger Applikation sind systemische Nebenwirkungen möglich. Kortison hemmt entzündliche Prozesse unterschiedlicher Genese. Es hemmt die

Chemotherapeutika

Osteoporosetherapie: Langfristige Gabe von Calcium- und Fluorionen.

Morbus Sudeck: Antiphlogistika, Antidepressiva, Calcitonin (evtl. Hydergin®, Trental® zur Beeinflussung der Durchblutung).

Morbus Paget: Diphosphonat, Calcitonin.

Basistherapie beim rheumatischen Formenkreis

Goldsalze, D-Penicillamin, Antimalariamittel, Immunsuppressiva.

Analgetika, nicht steroidale Antiphlogistika bei postoperativen und posttraumatischen Schmerzen und Schwellungen.

Nicht steroidale Antirheumatika

Wirkung durch Prostaglandinhemmung
→ Herabsetzung lysosomaler Enzyme.

Embolieprophylaxe

2–3× täglich 5000 I. E. Heparin sc. oder Heparin-Dihydrat (bettlägerige Patienten ab 16. Lebensjahr).

Salben

bei Hämatomen und Distorsionen Wirksamkeit meist sehr gering. Nur wenige Substanzen durchdringen die Haut.

Muskelrelaxanzien

bei Muskelverhärtungen, bei radikulären Reizungen.

Cortison

Wirksame Entzündungshemmung, aber auch Behinderung reparativer Vorgänge, keine intratendinöse Injektion (Rupturgefahr).

Kontraindikation: bakterielle Infektionen, Mykosen, Ulcus pepticum, Diabetes mellitus.

Nebenwirkung beachten.

Superoxid-Dismutase:
Indikation: entzündliche Veränderungen.
Prinzip: Neutralisierung von Sauerstoffradikalen.

Synoviorthese: Yttrium 90, Osmiumsäure intraartikulär.

Chemonukleolyse:
in Ausnahmefällen
bei Protrusion oder
Prolaps.

Intraartikuläre Injektionen:
Nur unter sterilen Kautelen!

Gewebeinfiltration bei
Myalgien,
Tendopathien.
Paravertebrale Injektionen.
Kein Cortison intratendinös!

Verbände
Aufgabe des Verbandes:
– ruhigstellen,
– fixieren,
– redressieren,
– extendieren
– stützen.

Fixierende Verbände
Fixierung der Gelenke:
– in Funktionsstellung,
– Abpolstern von Knochenvorsprüngen,
– Spaltung des Gipses bei frischer Fraktur.

Proliferation von Bindegewebezellen und Granulozyten (Wundheilung!) sowie die Chondroitinsulfatsynthese des Knorpelgewebes.

Bei häufiger lokaler Applikation oder systemischer Gabe (Rheumatiker) können folgende Nebenwirkungen auftreten:

- Hautveränderungen: Pigmentzunahme, Purpura, Akne, Erythem;
- Knochenveränderung: Osteoporose, Fraktur;
- Knorpelveränderung: Hemmung der Chondroitinsulfatsynthese (Mukopolysaccharidsynthese);
- Appetit- und Gewichtszunahme,
- Kochsalz- und Wasserretention (Kaliumverlust, Ödembildung)
- diabetogener Effekt, Hemmung der lokalen und allgemeinen Abwehr (Hemmung der Proteinbiosynthese in lymphatischen Organen),
- Ulkusbildung, androgene Funktionssteigerung, Nebennierenrindeninsuffizienz, psychische Beeinflussung.

Bei systemischer Gabe ist die circadiane Rhythmik des Cortisol-Gehalts im Plasma zu beachten (Tagesdosis zwischen 6–8 Uhr morgens geben).

Kontraindikationen: Ulcus pepticum, Herzerkrankung oder Hypertension mit Herzinsuffizienz, *Infektionen*, Psychosen, Diabetes mellitus.

Orgotein (Superoxid-Dismutase): Bei entzündlichen Reaktionen werden Sauerstoffradikale frei, die normalerweise von körpereigener Superoxid-Dismutase neutralisiert werden. Bei akuten Entzündungen kann obiges Gleichgewicht gestört sein und die entzündliche Reaktion durch lokale Orgotein-Injektion (Peroxinorm®) günstig beeinflusst werden.

Bei rezidivierenden Gelenkergüssen nach Arthrose kann die *Synoviorthese* mit Yttrium 90 oder Osmiumsäure eine Alternative zur operativen Synovektomie darstellen; diese Präparate können jedoch zu einer Knorpelschädigung führen.

Durch Chymopapain läßt sich in ausgewählten Fällen Bandscheibengewebe auflösen (*Chemonukleolyse*). Technik: Unter Bildwandlerkontrolle wird zunächst eine Diskographie angefertigt. Beim Nachweis eines Prolaps wird dann Chymopapain injiziert. Komplikationen: allergische Reaktion, Diszitis. (Voraussetzung: geschlossener äußerer Faserring!)

Injektionstherapie: Intraartikuläre Injektionen dürfen nur unter sterilen Bedingungen (steriles Abdecken, Handschuhe) vorgenommen werden. Als Substanzen werden Kortisonderivate, Knorpelaufbaustoffe, Lokalanästhetika und Orgotein verwendet (Komplikation: Gelenkinfektion).

Bei Myalgien und Tendopathien erfolgen lokale *Gewebeinfiltrationen* mit Anästhetika und Cortisonderivaten im Bereich des Schmerzzentrums. Die intratendinöse Injektion von Cortison ist wegen der Gefahr der Sehenschädigung kontraindiziert. Bakterielle Entzündungen und Mykosen sind weitere Kontraindikationen. Spezielle Anwendungsformen der Injektionstherapie sind:

Paravertebrale Injektion,
therapeutische Lokalanästhesie (z. B. Oberst-Anästhesie),
periphere Nervenblockade (lumbale Wurzelblockade).

1.7.2 Verbände

Verbände sollen ruhigstellen, fixieren, redressieren, extendieren oder stützen.

Fixierende Verbände: Für die *Ruhigstellung* werden Gips- bzw. Kunststoffverbände verwendet. Nach Verletzungen und operativen Eingriffen werden oft Gipsschalen angelegt, um eine ungestörte (Wund-)Heilung zu ermöglichen. Bei der konservativen Frakturbehandlung dienen Gipsverbände nach der Reposition zur Ruhigstellung und *Fixierung*, die beiden benachbarten Gelenke müssen in den Verband einbezogen werden. Gelenke steifen nach

längerer Immobilisierung ein, sie sollen daher in „Funktionsstellung“ fixiert werden. Kapsel- und Bandschrumpfungen müssen vermieden werden (Abduktion im Schultergelenk, Flexion der Fingergrundgelenke um 80°). Markante Knochenvorsprünge sind abzupolstern, ein Druck auf oberflächlich verlaufende Nerven (N. peroneus am Fibulaköpfchen) ist zu vermeiden. Nach frischen Frakturen wird der primär angelegte Gipsverband gespalten, um Durchblutungsstörungen zu verhindern.

Frakturen werden im Kindesalter weitgehend konservativ behandelt (Ausnahme: Gelenkfrakturen), da eine längere Immobilisierung von Gelenken eher toleriert wird.

Extensionsverbände sollen nach Knochenbrüchen eine Reposition ermöglichen und halten bzw. Verkürzungen durch Muskelzug vermeiden. Die Extension ist über die Haut mit Pflastern möglich (Extensionsbehandlung nach Bryant bei Oberschenkelfrakturen des Kleinkindes), ferner über eine Knöchellaschenextension (zur OP-Vorbereitung nach Schenkelhalsfrakturen), eine Drahtextension durch Kalkaneus, Tibiakopf, Femurcondylen oder Olekranon (Extension nach Unter- und Oberschenkelfrakturen, nach suprakondylären Humerusfrakturen) und schließlich über die Verschraubung eines Metallbügels am Schädel (Crutchfield-Klammer oder Halo-Ring als Extension nach Halswirbelfrakturen).

Stützverbände werden vor allem nach Distorsionen im Bereich von Knie-, Sprung- und Handgelenk angewendet (elastische Binde, Tape-Verband). Elastische Kompressionsverbände sollen die Resorption von Hämatomen fördern bzw. die Entstehung von Schwellungen (Ödemen) verhindern.

Redressierende Verbände und Schienen finden bei der Behandlung von Klump- und Sichelfuß, der Skoliose-Therapie und der Behandlung von Kontrakturen weite Anwendung.

Fehlstellungen sollen durch gezielten Druck und Zug korrigiert werden. Quengelverbände sollten Kontrakturen passiv langsam lösen, so z. B. am Finger-, Ellenbogen- oder Kniegelenk.

Lagerungsschienen (z. B. nach Arthrolyse) sollen erreichte Winkelstellungen oder bei Lähmung eine bestimmte Gelenkposition halten, so das Handgelenk in Dorsalexension bei Radialislähmung oder den Daumen in Opposition durch einen Opponenssplint bei Medianusausfall.

Dynamische Schienen unterstützen durch einen konstanten und gerichteten Zug eine verloren gegangene oder geschwächte Muskelkraft, so daß bestimmte Gelenkbewegungen wieder ermöglicht werden. Über einen Auslegerbügel an einer Grundschiene befestigt, wird der Zug über Gummizügel erreicht.

1.7.3 Physikalisch-krankengymnastische Therapie, Beschäftigungstherapie

Nach längerer Ruhigstellung oder operativen Eingriffen führt der Patient erste Bewegungs- und Kräftigungsübungen unter *krankengymnastischer Anleitung* durch. Mit neurophysiologisch begründbaren Bewegungskombinationen lassen sich bemerkenswerte Erfolge erzielen (PNF, propriozeptive neuromuskuläre Faszilitation). Bei neurologischen Erkrankungen finden spezielle Verfahren (Bobath, Vojta) Anwendung.

Wesentlich ist die Krankengymnastik in der Nachbehandlung von Arthrolysen und der Beseitigung von Kontrakturen.

Durch Applikation von Wärme oder Kälte (Eis) können Schmerzen und entzündliche Reaktionen im geschädigten Bereich vermieden werden. Ursprüngliches Bewegungsmuster und funktionelle Leistungsfähigkeit der verletzten Extremität sollen wiederhergestellt werden.

Verbandmaterial z. B.:

- elastische Binde,
- Tape,
- Elastoplast,
- Gips,
- Kunststoff (Fiberglas, Polyurethan),
- Zinkleim.

Extensionsverband

Pflasterextension bei Kleinkindern

Drahtextension:

- Femurcondylus, (Oberschenkelfraktur),
- Tibiakopf (Oberschenkelfraktur);
Nachteil: Belastung der Kniebänder,
Vorteil: keine Infektionsgefahr am verletzten Knochen),
- Kalkaneus (Unterschenkelfraktur),
- Crutchfield-Klammer oder Halo-Ring an Klotte bei Halswirbelsäulenverletzungen.

Stützverband

nach Distorsionen.

Redressierender Verband (Schienen)

Prinzip: Korrektur von Fehlstellungen bei

- Sichelfuß,
- Klumpfuß,
- Skoliose.

Quengelverband:

- Fingerkontraktur,
- Ellenbogenkontraktur.

Lagerungsschienen

Halten bestimmte Gelenkpositionen z. B. bei Lähmung

- Radialisschiene (Handgelenk),
- Opponenssplint (Ausfall: N. medianus).

Dynamische Schienen

bestehen aus:

- Grundschiene,
- Auslegerbügel,
- Gummizügel.

Krankengymnastisch-physikalische Therapie

Grundformen der Krankengymnastik:

- Lagerung,
- Bewegungsübungen,
- therapeutische Massage.

Bobath-Methode:

Indikation: spastische Lähmung, fördert die gelähmten Partien.

Kryotherapie:

Wirkung: reaktive Hyperämie, Anästhesierung der Hautrezeptoren.

Indikation: Kontrakturen unterschiedlicher Art, Insertionstendopathien, Entzündungen.

Kontraindikation: neurologische Störungen, periphere Durchblutungsstörungen.

Passive Bewegung
durch Dehnung über Dauerkräfte.

Brisement:
Durch bewegen in Narkose → Lösung von Verklebungen.

Massage

Handgriffe: Streichung, Knetung, Reibung, Zirkelung, Vibration.
Indikation: muskulärer Hartspann, narbige Adhäsionen.
Kontraindikation: frisches Trauma, Hauterkrankungen, Knocheninfektionen.

Hydrotherapie

zur Rehabilitation –
Gedemobilisation,
Muskelkräftigung.

Extensionsbehandlung

bei Zervikalsyndrom,
Lumbalgien.
Formen nach Glisson, Perl.

Elektrotherapie

Wirkung:
– Wärmeerzeugung,
– Schmerzlinderung.

1. Niederfrequenztherapie (0–1000 Hz)

Galvanisation = Gleichstrom

Anwendung:

- trocken
- naß: Stangerbad
Vierzellenbad
- Iontophorese (Penetration von Pharmaka)

Indikation: Schmerzen.

Reizstromtherapie

– einfache Impulsströme:

- konstanter Wechselstrom
- Exponentialstrom (dreieckiger Impuls)
- Schwellstrom

Indikation:
Muskelatrophie, Nervenschädigung
Sonderform: TENS
(= Transkutane elektrische Nervenstimulation)

Passive Bewegung: Durch krankengymnastische Dehnungsübungen, durch bestimmte Lagerung (z. B. Biegeböckchen für das Kniegelenk) und Einwirkung von Kräften als Dauerkraft oder in phasischer Anwendung können Verkürzungen beseitigt werden. Diese passiven Dehnungsübungen stehen rangmäßig jedoch hinter aktiven Übungen.

Längere Ruhigstellung bedingt neben der Atrophie von Muskeln und Knochen auch Knorpelveränderungen und evtl. eine Verkürzung von Bandstrukturen und Kapselverklebungen. Geben diese Verklebungen nicht nach, können sie in Narkose gewaltsam gelöst werden.

Brisement: Die sofort einsetzende krankengymnastische Therapie muß eine erneute Einsteifung verhindern. Ein Brisement wird häufig am Schulter-, seltener am Kniegelenk durchgeführt (Gefahr: iatrogene Bandverletzung, Fraktur).

Massage: Verspannte Muskulatur läßt sich durch Massage auflockern. Mit der Bindegewebsmassage sollen über Lösungen von Verspannungen reflektorisch segmentgleiche innere Organe beeinflußt werden. Kontraindikationen sind frische Verletzungen und entzündliche Prozesse. Sonderform: Unterwasser-Druckstrahlmassage (Indikation: massive Muskelverspannung).

Hydrotherapie: Bei Übungen im Bewegungsbad wird der Auftrieb des Wassers genutzt. Sie sind in der Rehabilitationsphase wertvoll, wenn erst eine Teilbelastung erlaubt ist. Wassertemperatur: 30–32 °C. Ziel: Gelenkmobilisation, Muskelkräftigung, Gehschulung. Das Gewicht der im Wasser befindlichen Körperteile ist auf ca. $\frac{1}{10}$ reduziert. Sonderform: Überwärmungsbad (40–42 °C).

Extensionsbehandlung: Ziel ist die Entlastung der Bandscheiben im HWS- und LWS-Bereich. Formen: Glisson-Extension, Perl-Extension. Indikation: Zervikalsyndrom, akute Lumbalgie. Kontraindikation: Tumor, Entzündung, ausgeprägte Spondylose. Knöchellaschen-Extension: Entlastung von Hüft- und Kniegelenken.

Elektrotherapie. Mit dieser speziellen Therapieform lassen sich grundsätzlich 2 verschiedene Wirkungen erzielen:

1. Wärmeerzeugung durch aktive Hyperämisierung.
2. Schmerzlinderung durch elektrochemische Veränderungen mit Reizwirkung auf Nerven und Muskeln.

Zur Anwendung kommen 2 grundsätzlich verschiedene Anwendungsformen: Niederfrequenztherapie und Hochfrequenztherapie.

Niederfrequenztherapie (Frequenzbereich 0–1000 Hz)

1. **Galvanisation** bedeutet kontinuierlich fließender – konstanter – Gleichstrom. Er kann trocken oder auch als Stanger-Bad (als elektrisches Vollbad, u. U. mit Zusatz von Pflanzenextrakten), als Vierzellenbad (Wannen = Zellen für jede Extremität) oder als Iontophorese zur Anwendung kommen. Bei der Iontophorese wird der Gleichstrom als Transportmittel für Pharmaka in Salbenform benutzt, die in Ionenform die Haut penetrieren und somit in der Tiefe wirksam werden können (z. B. Histamin). Indikationen für Galvanisation: Gelenk- und Weichteilschmerzen unterschiedlicher Genese, Neuralgien, Ischialgien.

2. **Reizstromtherapie.** Hier kommen einfache und kombiniert Impulsströme zur Anwendung.

Einfache Impulsströme sind der konstante faradische (Wechsel-)Strom oder niederfrequente Wechselströme mit verschiedenen Impulsformen: Dreieckform = Exponentialstrom, Viereckform, An- und Abschwellung der Impulshöhe = Schwellstrom.

Indikation: Bei Nervenschädigung zur Verhinderung der Muskelatrophie. Sonderform: Transkutane elektrische Nervenstimulation (TENS) zur Therapie chronischer Schmerzzustände. Auch bei bestimmten Skolioseformen wird durch Stimulierung der Rückenmuskulatur auf der Konkavseite versucht, die Progredienz der Skoliose aufzuhalten.

Kombinierte Impulsströme sind z. B. die diadynamischen Ströme, bei denen ein- oder zweiwegig gleichgerichtete Wechselströme wirken oder der Interferenzstrom mit 2 sich kreuzenden elektrischen Feldern.

Hochfrequenztherapie (100 kHz–3000 MHz).

Je nach Wellenlänge wird in Kurzwellen-, Ultrahochfrequenz- und Mikrowellentherapie unterteilt. Sie erzeugt Wärme und dient daher der reinen Wärmetherapie (Diathermie). Indikationen ergeben sich bei degenerativen Erkrankungen des Bewegungsapparates, z. B. bei Arthrosen, Spondylosen, eine Ultraschalltherapie (Frequenz 0,8 MHz) bei Insertionstendopathien.

Elektrische Felder werden zur Beschleunigung der Frakturheilung und Durchbauung von Pseudarthrosen benutzt. Die Applikation erfolgt über am Knochen befestigte Elektroden oder über ein äußerliches elektromagnetisches Feld. Auch beim Morbus Sudeck wird ein elektromagnetisches Feld therapeutisch eingesetzt. Eine abschließende Beurteilung dieser Verfahren ist z. Z. noch nicht möglich.

Beschäftigungs- und Arbeitstherapie (Ergotherapie): Sie fördert die manuelle Geschicklichkeit und die Wiedereingliederung des Patienten in seine Umwelt. Behinderte können zum selbständigen Essen, Waschen und Anziehen angeleitet werden. Erwachsene führen allgemeine handwerkliche Arbeiten durch: Holz-, Ton-, Lederarbeiten, Korbflechten u. ä. Hierdurch werden erkrankte Gelenke und Gelenkketten *unbewußt* mobilisiert und die Muskulatur gekräftigt, während bei der krankengymnastischen Behandlung bestimmte Muskeln ganz *bewußt* trainiert werden. Später erfolgen berufsbezogene Arbeiten und Haushaltstraining.

Manuelle Medizin (Chirotherapie): Die theoretischen Grundlagen der Chirotherapie sind auch heute erst unzureichend abgesichert. Durch gezielte Manipulation sollen Subluxationen beseitigt und fehlendes Gelenkspiel (Joint play nach Mennell) wiederhergestellt werden. Indikation: Blockierungen im Bereich der Extremitätengelenke, der Wirbelsäule, des Sakroiliakgelenkes. Jeder Chirotherapie muß eine eingehende klinische und röntgenologische Untersuchung vorausgehen.

Kontraindikation: Tumoren, frische Frakturen oder Luxationen, floride Spondylitis, akuter Schiefhals, Kauda-Syndrom.

1.7.4 Grundzüge der operativen Behandlung

Der Operationstrakt bildet eine abgeschlossene Einheit, er sollte nur über Schleusen zugänglich sein. Räume für septische Eingriffe sind streng abzutrennen. In modernen Operationsabteilungen werden Temperatur und Luftfeuchtigkeit konstant gehalten, die Luft wird im eigentlichen Operationssaal 25- bis 90mal pro Stunde ausgetauscht – in speziellen Kabinen (Endoprothetik) bis zu 200mal. Zwischen den Eingriffen wird der Raum mit einer antiseptischen Lösung ausgewischt. Der Operationstrakt darf nur in Schutzkleidung, Operationsschuhen, mit Kopfhaut und Mundschutz betreten werden.

Der Patient wird im Vorbereitungsraum auf speziellen – meist strahlendurchlässigen – Operationstischen gelagert und das Operationsgebiet rasiert. Falsche Lagerung kann zu Nervenschäden führen, z. B. Überstreckung des Plexus brachialis, Druck auf den N. peroneus oder den N. ulnaris. Viele Eingriffe werden durch das Anlegen einer pneumatischen Blutleere erleichtert. Der korrekte Druck – nach dem Auswickeln der betroffenen Extremität – hängt vom Alter des Patienten, seinem Blutdruck und dem Durchmesser des Armes oder Beines ab (Arm beim Erwachsenen: bis 300 mm Hg, Bein: bis 500 mm Hg). Die Blutleere muß nach 1½ bis 2 Stunden für 10 Minuten geöffnet werden.

– kombinierte Impulsströme
diadynamische Ströme
Interferenzstrom

2. Hochfrequenztherapie (100 kHz bis 3000 MHz)

- Kurzwellen
- Ultrahochfrequenz
- Mikrowellen

Wirkung: reine Wärmetherapie (= Diathermie).

Indikation: degenerative Erkrankungen.

Elektrische Felder

Anwendung bei:

- Pseudarthrosen,
- Sudeck-Syndrom.

Beschäftigungs- und Arbeitstherapie

Mobilisierung von Gelenken,
Kräftigung der Muskulatur,
Übung der Geschicklichkeit,
Training zur Selbsthilfe.

Manuelle Therapie

Indikation:

Blockierung an Wirbelgelenken, Extremitätengelenken und des Sakroiliakgelenkes.
Vorher: eingehende klinische Untersuchung, Röntgenbild.

Grundzüge operativer Behandlung

Operationstrakt:

- abgetrennte Einheit,
- Filterung und Austausch der Luft zur Reduzierung der Keimzahl.

Lagerung des Patienten:

Cave Nervenschädigung durch Druck (N. peroneus) oder Überdehnung (Plexus).

Blutleere oder **-sperre** nach 1½–2 h für 10 min unterbrechen.

Druckwerte:

Oberarm 300 mm Hg
Oberschenkel 500 mm Hg