Winkelstabile Platten-osteosynthese proximaler Humerusfrakturen

Humeruskopffrakturen sind mit etwa 5% aller Frakturen häufige Verletzungen [3, 6, 11, 15, 22]. Ihre Inzidenz steigt mit dem Lebensalter. 75% aller Oberarmkopffrakturen treten bei über 60-jährigen Patienten auf. Das weibliche Geschlecht dominiert im Verhältnis 3:1 [11, 14, 15]. Daraus lässt sich als bedeutender Risikofaktor die Osteoporose ableiten. Es besteht eine signifikante Assoziation proximaler Humerusfrakturen mit

- geringer körperlicher Aktivität,
- Gleichgewichtsstörungen,
- Schmerzen in den unteren Extremitäten,
- Stürzen im Vorjahr und
- Gewichtsverlust bei Frauen mit vorbestehender Osteoporose [13, 21].

Während bei jüngeren Patienten Hochenergetraumen überwiegen, liegen bei älteren Patienten mit Osteoporose Unfallmechanismen mit geringer Krafteinwirkung, wie Sturz auf die ausgestreckte Hand, direkt von lateral wirkende Gewalt oder exzessive Außenrotation bei abduziertem Arm, zugrunde [6, 11, 15, 22].

Humeruskopfvaskularisation und Nekroserisiko

Die Hauptblutversorgung des Humeruskopfs erfolgt über die A. arcuata, die aus der A. circumflexa humeri anterior stammend als R. ascendens im Sulcus intertubercularis nach proximal verläuft und am Collum anatomicum in die Kalotte ein-

mündet. Anastomosen zur A. circumflexa humeri posterior bestehen über postero-mediale periostale Gefäße [10]. Diese können nach Unterbindung der extraossären A. arcuata bei 75% noch eine ausreichende Kalottendurchblutung gewährleisten [4].

Insbesondere bei Frakturen am Tuberculum minus mit Schädigung des R. ascendens im Sulcus intertubercularis sowie bei Frakturen am Collum anatomicum mit Schaftdislokation um >5 mm nach medial und Einriss des medialen Periostschlauchs besteht ein hohes Humeruskopfnekroserisiko [6, 11, 22]. Es wird für dislozierte 3-Fragment-Frakturen mit 8–14%, für dislozierte 4-Fragment-Frakturen mit 14–50% angegeben [1, 20, 24, 29, 37]. Isolierte Humeruskopfnekrosen gehen mit einer mäßigen prognostischen Verschlechterung einher, ihre Kombination mit posttraumatischen/postoperativen Fehlstellungen weist signifikant schlechtere Prognosen auf [10].

Frakturklassifikationen

Einteilung nach Neer

Sie ist die weltweit gebräuchlichste Klassifikation proximaler Humerusfrakturen [28] und basiert auf der Unterscheidung der 4 Hauptfragmente nach Codman (Kalotten-, Tuberculum-majus-, Tuberculum-minus-, Schaftfragment) und deren Dislokationsgrad [7, 11]. Definitionsgemäß besteht eine relevante Dislokation ab einer Fragmentverschiebung >1 cm bzw. einer Abkippung um >45°. Nicht oder gering dislozierte sta-

bile Frakturen werden, auch wenn mehrere Fragmente vorhanden sind, als „One-part-fractures“ klassifiziert. Zusätzlich werden Luxationsfrakturen nach Luxationsrichtung, Fragmentzahl und Kalottenimpression unterschieden [6, 11]. Als Sonderformen haben sich Humeruskopfmpressions- (valgus impacted fractures) und -trümmerfrakturen (head splitting fractures) herauskristallisiert [22].

Nachteilig ist die fehlende, prognostisch relevante Unterscheidung hinsichtlich des Frakturverlaufs am Collum anatomicum bzw. chirurgicum bei 3- und 4-Fragment-Frakturen [6, 11, 22].

AO-Klassifikation

Diese weniger verbreitete Einteilung unterscheidet 3 Hauptgruppen (extraartikuläre, partiell intraartikuläre, komplett intraartikuläre Frakturen), die jeweils 9 Subgruppen mit ansteigendem Schweregrad und Humeruskopfnekroserisiko beinhalten. Somit stellt die AO-Einteilung zwar eine genaue morphologische Frakturbeschreibung dar und ergänzt den oben genannten Schwachpunkt der Neer-Klassifikation, ist jedoch mit 27 Untergruppen für die Praxis wenig geeignet [6, 11, 22].

Reliabilität der Neer- und AO-Einteilung

Beide Klassifikationen weisen aktuellen Untersuchungen zufolge eine geringe Intra- und Interobserverreliabilität auf [3, 8, 11, 19, 22, 31, 32]. Kristiansen et al. [19] und

Brorson et al. [5] berichteten über eine erhöhte Interobservergenauigkeit bei erfahrenen Anwendern bzw. durch Training, wohingegen Sallay et al. [31] sowohl bei Experten als auch bei Nichtexperten nur eine suboptimale Reliabilität bezüglich der Fragmentidentifikation und Dislokationsbeurteilung im Röntgenbild eruierten. Auch die zusätzliche Computertomographie und 3D-Rekonstruktion verbesserten die Interobservergenauigkeit und Reproduzierbarkeit nicht signifikant, ursächlich seien eine unzureichende Identifikation der Fragmente und deren Ausdehnung sowie verschiedene Interpretationen der Pathoanatomie [31].

Einteilung nach Edelson

Edelson et al. [8] stellten eine „3D-Klassifikation“ vor, die auf 5 Frakturgruppen (2-Part-Frakturen, 3-Part-Frakturen, Shield-Frakturen und Varianten, Frakturen des Tuberculum majus, Luxationsfrakturen) basiert und mit einer im Vergleich zur Neer- und AO-Einteilung 2fach erhöhten Interobservergenauigkeit einhergeht. Sie liefert als 3D-Bildgebung zugleich wichtige Informationen für die ggf. notwendige operative Rekonstruktion.

Diagnostik

Nach Anamnese und klinischer Untersuchung gilt die „Traumaserie nach Bigliani et al.“ als röntgenologische Basisdiagnostik [2]. Sie umfasst die a.-p.-, axiale und Y-Aufnahme. Anhand des Frakturlinienverlaufs, der Fragmentzahl und -dislokation erfolgt die für die Behandlungsstrategie essenzielle Fraktureinteilung [6, 22, 28].

Bei unklarer Fraktursituation, komplexer Mehrfragment- und Kalottenfraktur sowie Sub-/Luxation wird eine zusätzliche Computertomographie mit 3D-Rekonstruktion empfohlen [11, 18, 22]. Sonographie und Magnetresonanztomographie können begleitende Weichteilverletzungen darstellen. Beim Verdacht auf eine arterielle Gefäßverletzung besteht die Indikation zur Angiographie [6, 22].

Therapie

Voraussetzungen einer erfolgreichen Behandlung proximaler Humerusfrakturen

Trauma Berufskrankh 2005 · 7[Suppl 1]: S10–S14
DOI 10.1007/s10039-004-0955-9
© Springer Medizin Verlag 2004

C. Voigt · H. Lill

Winkelstabile Plattenosteosynthese proximaler Humerusfrakturen

Zusammenfassung

Proximale Humerusfrakturen sind häufige Verletzungen, deren Inzidenz mit zunehmendem Lebensalter steigt. Die Vielzahl der Therapiekonzepte dislozierter proximaler Humerusfrakturen ist Gegenstand kontroverser Diskussionen, wobei die winkelstabile Plattenosteosynthese eine neue Dimension der Stabilisierung darstellt. Biomechanischen Studien zufolge ist die winkelstabile LPHP® (locking proximal humerus plate) verglichen mit anderen Implantaten unter zyklischer Dauerbelastung am stabilsten. Klinische Ergebnisse bestätigen

dies. Sie verbindet die Vorteile einer verbesserten Implantatverankerung im osteoporotischen Knochen mit der dynamischen Fixation und Antagonisierung der Rotatorenmanschette und ermöglicht so als primär übungsstabile Osteosynthese die prognostisch wichtige frühfunktionelle Nachbehandlung.

Schlüsselwörter

Proximale Humerusfraktur · Winkelstabile Plattenosteosynthese · Osteoporose

Fixed-angle plate fixation of proximal humeral fractures

Abstract

Fractures of the proximal humerus are very common, especially in older members of the population. There is no general agreement on the best operative therapy for displaced proximal humeral fractures, but fixed-angle plate fixation has taken the stabilisation that can be achieved into a new dimension. According to biomechanical studies comparing different implants, under exposure to long-term cyclic weight-bearing the locking proximal humerus plate (LPHP®)

is the most stable. Clinical results confirm this. The LPHP® combines the advantages of better implant fixation in osteoporotic bone and additional tension band wiring of the rotator cuff. This allows completely stable fixation and the early functional treatment that is essential for a good outcome.

Keywords

Fracture of proximal humerus · Fixed-angle plate osteosynthesis · Osteoporosis

sind eine korrekte Frakturklassifikation sowie ein individuell angepasstes Therapiekonzept, welches die Gesamtsituation des Patienten, dessen Anspruch und Compliance berücksichtigt [15, 22, 29].

Es herrscht weitgehender Konsens über eine konservative Behandlung von stabilen nicht oder gering dislozierten Oberarmkopffrakturen (Neer I) [9, 11, 15, 17, 18, 22, 27, 34, 35]. Ihr Anteil liegt bei 60–85% [6, 11, 15, 22]. Sie heilen unter konservativer Therapie mit guten funktionellen Ergebnissen aus [11, 15, 17, 22]. Hodgson et al. [17] plädierten auf Grundlage einer prospektiven randomisierten Studie für eine frühzeitige Physiotherapie.

Gibt es ebenso einheitliche gesicherte Therapiekonzepte für die dislozierte proximale Humerusfraktur?

Eine Literaturrecherche von 1966–2000 ergab, dass die wissenschaftlichen Grundlagen zur Entscheidungsfindung hinsichtlich einer erfolgreichen Therapie dislozierter Oberarmkopffrakturen unbefriedigend seien [35]. Das Spektrum möglicher Behandlungsformen reicht von der konservativen Therapie über Minimalosteosynthesen (Kirschner-Drähte, Cerclagen, Schraubeneosteosynthesen), intramedulläre Implantate, Plattenosteosynthesen bis hin zum endoprothetischen Humeruskopfersatz [1, 9, 11, 15, 16, 17, 18, 22, 27, 34, 35, 36, 37].

Implantat – Humeruskopfnekroserisiko – frühfunktionelle Nachbehandlung

Bis in die 80er Jahre galt die T-Platten-Osteosynthese als Therapie der Wahl zur Humeruskopf erhaltenden Therapie proximaler Humerusfrakturen [1]. Im Folgenden wurde sie zunehmend durch Minimalosteosynthesen verdrängt. Die AO-Sammelstudie von Kuner u. Siebler [20] hatte der Plattenosteosynthese eine im Vergleich zur Minimalosteosynthese signifikant erhöhte Humeruskopfnekroserate zugeschrieben. Hier ist jedoch eine vorhandene Negativselektion zu berücksichtigen, da die Gruppe der minimalosteosynthetisch versorgten Frakturen zu 66,6% 2- Fragment-Frakturen, die der plattenosteosynthetisch versorgten Frakturen zu 65% 3- und 4-Fragment-Frakturen beinhaltet und das Humeruskopfnekroserisiko mit steigender Fragmentzahl signifikant zunimmt [15, 20, 26].

Implantatunabhängig können perfusionsschädigende Repositionstechniken das Humeruskopfnekroserisiko erhöhen [6, 11, 15]. Hessmann u. Rommens [15] sahen schlechte Ergebnisse weniger nach Ausbildung einer Humeruskopfnekrose als durch Fehlstellungen bei unzureichender Reposition und Retention.

Den Forderungen nach einem Implantat, welches nach anatomischer Reposition eine Retention mit für eine frühfunktionelle Nachbehandlung ausreichender Primärstabilität bietet, wird am ehesten die Plattenosteosynthese gerecht [15, 16, 25, 27]. Bei den bisher verwendeten Humerus-T- und Kleeblattplatten handelt es sich um große Implantate mit unsicherer Verankerung im Humeruskopf [15, 24]. Es wird uneinheitlich sowohl von „guten“ als auch von „schlechten“ Ergebnissen berichtet [1, 15, 16, 26].

Implantat und Osteoporose

Eine besondere Herausforderung an die Implantate stellt die unter Berücksichtigung der Inzidenz häufig notwendige Verankerung im osteoporotischen Knochen dar [24]. Eine experimentelle Studie zur alters- und geschlechtsabhängigen Knochenmineraldichteverteilung am proximalen Humerus zeigte eine hohe Korrelation zwischen zunehmendem Alter und abnehmender Knochenmineraldichte bei weiblichen Präparaten mit einem signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen der ≤69- und ≥70-Jährigen [14]. Alters- und geschlechtsunabhängig befinden sich die höchste Knochenmineraldichte und -festigkeit in den medialen und dorsalen Regionen des Humeruskopfs; zentral, in den Tubercula und am Collum chirurgicum sind diese Parameter erniedrigt [14]. Die Ergebnisse geben Aufschluss über die Fraktorentstehung und sind zugleich Grundlage für die Entwicklung struktorientierter Implantate mit verbesserter Fixation im osteoporotischen Knochen.

Eine In-vitro-Studie analysierte an verschiedenen Implantaten deren Steifigkeit in 6 klinisch relevanten Lastfällen sowie deren dynamisches Verhalten unter zyklischer Belastung im Varusstress [24]. Es wurden

- die Humerus-T-Platte (HTP),
- die gekreuzte Schraubenosteosynthese (GSO),

- der unaufgebohrte proximale Humerusnagel (UHN) mit Spiralklinge,
- der Synclaw proximal humerus nail (SPHN) und
- die winkelstabile proximale Humerusplatte (LPHP®)

als z. T. neue Implantate und Osteosyntheseverfahren mit unterschiedlichem Design, unterschiedlicher Platzierung und Kraftübertragung verglichen [24]. Dabei wiesen große, rigide Implantate mit hoher Steifigkeit (HTP, UHN) zwar Vorteile in den statischen Tests auf, zeigten jedoch unter dynamischer Dauerbelastung eine frühzeitige Lockerung [24]. Die relativ kleine und anatomisch geformte LPHP®, die mit dem signifikant geringsten Lastabfall eine langfristige Stabilität mit minimaler Belastung am Knochen-Implantat-Interface besitzt, scheint für den osteoporotischen Knochen besonders geeignet [24]. Sie fungiert als Fixateur interne, wobei die im Humeruskopf gekreuzt angeordneten Schrauben zusätzlich stabilisieren [24]. Vergleichbare Implantate, welche sich in der Schraubenanordnung unterscheiden, wurden in Übersichtsarbeiten von Hessmann u. Rommens [15] und Südkamp [34] vorgestellt.

Winkelstabile proximale Humerusplatte (LPHP®)

Die erste prospektive Studie mit der LPHP® zeigt viel versprechende Ergebnisse [25]. 3 Monate postoperativ erreichten von 29 nachuntersuchten Patienten 5 ein „sehr gutes“, 14 ein „gutes“, 7 ein „befriedigendes“ und 3 ein „schlechtes“ Ergebnis im Constant-Score (■ Abb. 1) [25].

Die LPHP® kann in Beach-chair-Lagerung über den deltoideptorale Standard-Zugang sowie nach geschlossener Reposition und ggf. temporärer Kirschner-Draht-Fixation über den kleinen anterolateralen δ -Splitting-Zugang eingebracht werden. Letzterer wurde primär für die offene Rotatorenmanschettenrekonstruktion beschrieben und hat sich bei der anterograden Nagelung von Humerusschaftfrakturen als sicher und unproblematisch erwiesen. Er fand bei der LPHP® erstmals Anwendung für eine Plattenosteosynthese [12, 25, 30]. Prognostisch günstig ist die geringe Kompromittierung der periartikulären Gleitschicht [37]. Das Tuberculum ma-

jus kann, wenn nötig, direkt reponiert werden. Gleichzeitig ist das Zuggurten der Rotatorenmanschette mit nicht resorbierbaren Fäden über 3 paarige Zusatzlöcher möglich [25]. Die nur in 1 von 29 Fällen aufgetretene Frakturdislokation mit Varusfehlstellung unterstreicht die Bedeutung einer zusätzlichen Zuggurtung [25].

Bei 5 von 29 Patienten lag radiologisch postoperativ eine Schraubenperforation am Humeruskopf vor; ein zusätzliches Durchwandern, welches als spezielles Problem winkelstabiler Schrauben beschrieben wird, zeigte sich postoperativ nicht [25, 34]. Ein klinisch manifestes Plattenimpingement wurde nicht beobachtet [25]. Die Nachbehandlung erfolgte frühfunktional. Langzeitresultate bleiben abzuwarten.

Als nachteilig zeichnet sich das trotz Einsatzes eines Zielblocks häufig schwierige Platzieren der winkelstabilen Kopfschrauben in korrekter Richtung ab. Kritisch anzumerken bleibt ebenso, dass bei 3 von 29 Patienten mit zur Nachuntersuchung 3 Monate postoperativ bereits konsolidierter Fraktur die LPHP® im subkapitalen Bereich gebrochen war [25].

Das für andere Osteosynthesetechniken z. T. auf bestimmte Frakturgruppen eingeschränkte Indikationsspektrum besteht für die LPHP® nicht, sodass alle Frakturtypen sowie Pseudarthrosen versorgt werden können (■ **Abb. 1**) [1, 16, 25, 27, 35, 37].

Primärer endoprothetischer Ersatz

Winkelstabile proximale Humerusplatten engen den primären Einsatz der Humeruskopfprothese weiter ein. Die Indikation hierfür besteht weiterhin bei schwerst disloziertem oder luxiertem Kalottenfragment mit Verletzung des medialen Periostschlauchs sowie bei einer Humeruskopftrümmer- und -impressionsfraktur mit Zerstörung von >40% der Kalottenfläche [6, 11, 22, 29].

Fazit für die Praxis

Die winkelstabile Plattenosteosynthese stellt eine neue Dimension der Stabilisierung proximaler Humerusfrakturen dar [15, 18, 25, 27, 34]. Sie verbindet die Vorteile einer verbesserten Implantatverankerung im osteoporotischen Knochen mit der dynamischen Fixation und Antagonisierung der Rotatorenmanschette und er-

Abb. 1 ► Röntgen im a.-p.- und axialen Strahlengang, 75-jährige Patientin mit Neer-IV-3-Fragment-Fraktur, a Unfallbilder, b 3 Monate postoperativ, c 12-Monats-Ergebnis klinisch-funktionell, Constant-Score: 96 Punkte, „sehr gut“

möglicht so als primär übungsstabile Osteosynthese die prognostisch wichtige frühfunktionelle Nachbehandlung [11, 17, 24, 25, 22].

Kritisch muss jedoch auf technische Probleme wie Schwierigkeiten bei der Platzierung der winkelstabilen Kopfschrauben in korrekter Richtung und zu schwach konzipierte Implantate hingewiesen werden [15, 18, 25, 34].

Korrespondierender Autor PD Dr. H. Lill

Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie,
BG-Sonderstation für Schwerunfallverletzte,
Ev. Diakoniewerk Friederikenstift,
Humboldtstraße 5, 30169 Hannover
E-Mail: helmut.lill@friederikenstift.de

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

1. Bähis H, Tingart M, Bouillon B et al. (2001) Die operative Therapie der proximalen Humerusfraktur. Zentralbl Chir 126: 211–216
2. Bigliani LU, Flatow EL, Pollock RG (1998) Fractures of the proximal humerus. In: Rockwood CA, Matsen FA (eds) The shoulder. Saunders, Philadelphia, pp 337–389
3. Brien H, Nofall F, MacMaster S et al. (1995) Neer's classification system: a critical appraisal. Injury 38: 257–260
4. Brooks CH, Revell WJ, Haetley FW (1993) Vascularity of the humeral head after proximal humeral fractures: an anatomical cadaver study. J Bone Joint Surg Br 75B: 132–136
5. Brorson S, Bagger J, Sylvest A et al. (2002) Improved interobserver variation after training of doctors in the Neer system. A randomized trial. J Bone Joint Surg Br 84B: 950–954
6. Brunner UH (2002) Humeruskopffraktur. In: Habermeyer P (Hrsg) Schulterchirurgie. Urban & Fischer, München, S 403–436
7. Codman EA (1934) Rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. In: Codman EA (eds) The shoulder. Todd, Boston, pp 262–293
8. Edelson G, Kelly I, Vigder F et al. (2004) A three-dimensional classification for fractures of the proximal humerus. J Bone Joint Surg Br 86B: 413–525

9. Gaebler C, McQueen MM, Court-Brown CM (2003) Minimally displaced humeral fractures: epidemiology and outcome in 507 cases. *Acta Orthop Scand* 74: 580–585
10. Gerber C, Schneeberger AC, Vinh TS (1990) The arterial vascularisation of the humeral head: an anatomical study. *J Bone Joint Surg Am* 72 A: 1486–1494
11. Habermeyer P (1997) Die Humeruskopffraktur. *Unfallchirurg* 100: 820–837
12. Habermeyer P, Lehmann L (2002) Rotatorenmanschette, Rotatorenintervall und lange Bizepssehne. In: Habermeyer P (Hrsg) *Schulterchirurgie*. Urban & Fischer, München, S 333–374
13. Hagino H, Fujiwara S, Nakashima E et al. (2004) Case-control study of risk factors of the distal radius and proximal humerus among the Japanese population. *Osteoporos Int* 15: 226–230
14. Hepp P, Lill H, Bail H et al. (2003) Where should implants be anchored in the humeral head? *Clin Orthop* 415: 139–147
15. Hessmann MH, Rommens PM (2001) Osteosynthesetechniken bei proximalen Humerusfrakturen. *Chirurg* 72: 1235–1245
16. Hintermann B, Trouillier HH, Schäfer D (2000) Rigid internal fixation of fractures of the proximal humerus in older patients. *J Bone Joint Surg Br* 82B: 1107–1112
17. Hodgson SA, Mawson SJ, Stanley D (2003) Rehabilitation after two-part fractures of the neck of the humerus. *J Bone Joint Surg Br* 85B: 419–422
18. Köstler W, Strohm PC, Südkamp NP (2002) Neue Osteosyntheseverfahren am Humerus. *Chirurg* 73: 969–977
19. Kristiansen B, Anderson UL, Olsen CA et al. (1988) The Neer classification of fractures of the proximal humerus. An assessment of interobserver variation. *Skeletal Radiol* 17: 420–422
20. Kuner EH, Siebler G (1987) Luxationsfrakturen des proximalen Humerus – Ergebnisse nach operativer Behandlung. *Unfallchirurgie* 13: 64–71
21. Lee SH, Dargent-Molina P, Breart G et al. (2002) Risk factors for fractures of the proximal humerus: results from the EPIDOS prospective study. *J Bone Miner Res* 17: 817–825
22. Lill H, Josten C (2000) Proximale und distale Humerusfrakturen im hohen Alter. *Orthopäde* 29: 327–341
23. Lill H, Giers R, Schmidt A et al. (1996) Die dislozierte subcapitale Humerusfraktur. Operative Behandlung mit einer modifizierten Kirschner-Drahttechnik. *Chir Prax* 50: 427–438
24. Lill H, Hepp P, Korner J et al. (2003) Proximal humeral fractures: how stiff should an implant be? *Arch Orthop Trauma Surg* 123: 74–81
25. Lill H, Hepp P, Rose T et al. (2004) Die winkelstabile Plattenosteosynthese (LPHP®) proximaler Humerusfrakturen über den kleinen anterolateralen Delta-Splitting-Zugang – Technik und erste Ergebnisse. *Zentralbl Chir* 129: 43–48
26. Lill H, Lange K, Prasse-Badde J et al. (1997) Die T-Plattenosteosynthese bei dislozierten proximalen Humerusfrakturen. *Unfallchirurgie* 23: 183–190
27. Mückter H, Herzog L, Becker M et al. (2001) Die winkel- und rotationsstabile Osteosynthese proximaler Humerusfrakturen mit der Humerus-Fixateurplatte. *Chirurg* 72: 1327–1335
28. Neer C (1970) Displaced proximal humerus fractures. Part I. Classification and evaluation. *J Bone Joint Surg Am* 52A: 1077–1089
29. Neer C (1970) Displaced proximal humerus fractures. Part II. Treatment of three-part and four-part displacement. *J Bone Joint Surg Am* 52A: 1090–1103
30. Riemer BL, D'Ambrosia R, Kellam JF et al. (1993) The anterior acromial approach for antegrade intramedullary nailing of the humeral diaphysis. *Orthopedics* 16: 1219–1223
31. Sallay PI, Pedowitz RA, Mallon WJ et al. (1997) Reliability and reproducibility of radiographic interpretations of proximal humeral fracture pathoanatomy. *J Shoulder Elbow Surg* 6: 60–69
32. Sidor ML, Zuckerman JD, Lyon T et al. (1993) The Neer classification system for proximal humeral fractures. *J Bone Joint Surg Am* 75A: 1745–1750
33. Sjoden GO, Movin T, Aspelin P et al. (1999) 3D–radiographic analysis does not improve the Neer and AO classifications of proximal humeral fractures. *Acta Orthop Scand* 70: 325–328
34. Südkamp NP (2004) Erste Erfahrungen mit winkelstabilen Implantaten. *Obere Extremität: Subcapitale Humerusfrakturen*. *Trauma Berufskrankh [Suppl 1]* 6: 13–18
35. Tingart M, Balthis H, Bouillon B et al. (2001) Die dislozierte proximale Humerusfraktur: Gibt es gesicherte Therapiekonzepte? *Chirurg* 72: 1284–1291
36. Weber E, Matter P (1998) Surgical treatment of proximal humerus fractures – international multicenter study. *Swiss Surg* 4: 95–100
37. Werner A, Böhm D, Ilg A et al. (2002) Die intramedulläre K-Draht-Osteosynthese nach Kapandji bei der proximalen Humerusfraktur. *Unfallchirurg* 105: 332–337