

Redaktion:
L. Schweiberer, München

Originalien

J. Blum¹ · P. M. Rommens¹ · H. Janzing² · H. S. Langendorff³

¹ Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Universitätskliniken, Mainz

² Klinik für Unfall- und Notfallchirurgie, Katholische Universität, Leuven (Belgien)

³ Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Stadtklinikum, Dortmund

Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem UHN

Eine internationale multizentrische Studie

Zusammenfassung

Der retrograde Zugang zur Markhöhle des Humerusschaftes verspricht eine für Gelenke, Nerven und Weichteile schonende Repositon und Fixation von Humerusschaftfrakturen bei Verwendung des neuen speziell hierfür konzipierten unaufgebohrten Humerusverriegelungsnagels (UHN) (Synthes). Im Rahmen einer prospektiven multizentrischen Studie wurden 102 retrograde Nagelungen mit diesem Implantat aufgezeichnet und ausgewertet; 7 Patienten mit pathologischen Frakturen verstarben, 75 Patienten konnten bis zur Knochenheilung verfolgt und nachuntersucht werden. Insgesamt wurden in dieser Studie 73 frische Humerusschaftfrakturen, 12 Pseudarthrosen, 3 Refrakturen und 14 pathologische Frakturen berücksichtigt. In 98 Fällen (96,1 %) bewerteten die Operateure die Frakturversorgung mit dem UHN als ausreichend stabil, um postoperativ sofort mit Schulter- und Ellenbogenmobilisation zu beginnen. Bedeutendste intraoperative Komplikationen waren Schwierigkeiten bei der proximalen Freihandverriegelung (5,9 %), Fissuren oder Aussprengungen an der Nageleintrittsstelle (3,9 %) und Paresen des N. radialis (3,9 %). Bei sämtlichen 75 Patienten, die prospektiv weiter verfolgt werden konnten, kam es zur Frakturheilung. Allerdings benötigten 5 Frakturen mehr als 8 Monate. Bei diesen 5 Patienten (6,7 %) wurde in 1 Fall eine Spongiosatransplantation und eine neue distale Verriegelung durchgeführt. In 3 Fällen wurde ein Compressionsgerät benutzt, wobei in 1 Fall ein neuer Nagel und in 1 Fall zu-

sätzliche Spongiosatransplantation notwendig wurden. Im 5. Fall wurde eine Plattenosteosynthese ausgeführt. Bei Behandlungsabschluß lag in 89,4 % der Fälle eine exzellente Schulterfunktion und in 88,0 % eine exzellente Ellenbogenfunktion vor. Eine Indikation zur operativen Versorgung vorausgesetzt, kann der UHN als sicheres und ausgereiftes Implantat zum Einsatz bei Humerusschaftfrakturen empfohlen werden.

Schlüsselwörter

Retrograde Nagelung · Humerusschaftfraktur · UHN

Die Verwendung intramedullärer Nagelsysteme zur Versorgung von Schaftbrüchen wird bei Femur und Tibia vielerorts nicht mehr nur als Alternative zur Plattenosteosynthese gehandelt, sondern je nach Frakturtyp und -lokalisierung durchaus als Standardverfahren angesehen. So ist im Falle der Humerusschaftfraktur der Wunsch verständlich, diese ebenfalls durch einen intramedullären Nagel versorgen zu können. Allerdings wäre es sehr vereinfacht, hier bei der Betrachtung klinischer und biomechanischer Hintergründe einfache Analogien zu erstellen.

Anatomische Besonderheiten des Humerus, aber auch seine von Femur und Tibia unterschiedliche Beanspruchung seitens Zug-, Druck-, Biege- und

insbesondere Rotationskräfte erfordern eine spezifische Betrachtung dieses durch Muskelkraft und nicht durch Körpergewicht belasteten langen Röhrenknochens im Blickwinkel einer bevorstehenden Frakturversorgung. Hinzu tritt die generell kontrovers diskutierte Indikationsstellung zum operativen Verfahren.

Zweifellos können diese Frakturen in vielen Fällen durch konservative Verfahren stabil zur Ausheilung gebracht werden [3, 11]. Allerdings sind daraus resultierende Forderungen nach einem generell konservativen Verfahren als überzogen einzustufen.

Unzufriedenheit gegenüber dem konservativen Vorgehen in speziellen Fraktursituationen des Humerusschaftes bildet die Grundlage, seit mehreren Jahrzehnten nach geeigneten operativen Verfahren zu fahnden, die in diesen Fällen eine stabile Versorgung, aber auch rasche Rehabilitation gewährleisten können.

Traten endomedulläre Verfahren, wie die Versorgung mittels Ender- und Hackethal-Nägeln oder Rush-Pins [7, 15] aus Stabilitätsgründen hinter die lange Jahre von der AO favorisierte Plattenosteosynthese eher in den Hintergrund, scheinen stabile neue Humerusmarknägel in der Lage zu sein, den Plat-

Dr. J. Blum

Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie,
Johannes Gutenberg Universität Mainz,
Langenbeckstraße 1, D-55 131 Mainz

J. Blum · P. M. Rommens · H. Janzing ·
H. S. Langendorff

Retrograde nailing of humeral shaft fractures with the UHN. An international multicenter survey

Summary

Combined with the new unreamed humeral nail (UHN) (Synthes®), the retrograde approach to the endomedullary canal of the humeral shaft promises careful reduction and fixation of humeral shaft fractures. This prospective multicenter study reports and analyses 102 retrograde nailings with the UHN and their operative procedures. Seven patients with pathological fractures have died meanwhile, but 75 patients could be followed up until bone healing. Seventy-three fresh humeral shaft fractures, 12 pseudarthrosis, 3 refractures and 14 pathological fractures have been treated with the UHN. In 98 cases (96.1 %) the surgeon estimated fracture stability well enough to initiate immediate postoperative elbow and shoulder mobilization. The difficulties involved with free-hand interlocking proximally at the nail tip in 5.9 %, fissure or avulsion at the insertion point in 3.9 % and radial nerve palsy also in 3.9 % of the cases were the most important intraoperative complications. In all 75 patients followed up, bone healing occurred, but five fractures (6.7 %) needed more than 8 months connected with a second operative procedure. In one case spongy bone transplantation and new locking bolts had been performed. In three cases a special compression device has been used, whereas in one case also a new nail and in the second spongy bone transplantation had been added. In the fifth case plate osteosynthesis had been performed. At the end of treatment 89.4 % of the patients had excellent shoulder function and 88.0 % excellent elbow function. Once the indication for surgery is established, the UHN can be considered a reliable and safe implant for stabilizing humeral shaft fractures.

Key words

Retrograde nailing · Humeral shaft fractures · UHN

Tabelle 1

Liste der Referenzkliniken bei 102 retrograden Nagelungen

- Universitätskliniken der katholischen Universität Leuven (Belgien), Klinik für Traumatologie und Notfallchirurgie (Direktor: Prof. Dr. P. L. Broos)
- Universitätskliniken der Johannes Gutenberg Universität Mainz, Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie (Direktor: Prof. Dr. P. M. Rommens)
- Stadtklinikum Dortmund, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie (Direktor: Prof. Dr. H.-V. Langendorff)
- Marienhospital Soest, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (Direktor: Dr. T. M. Schockenhoff)
- Universitätskliniken Leipzig, Chirurgisches Zentrum, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie (Direktor: Prof. Dr. K. Weise)
- Universitätskliniken Halle, Unfallchirurgische Klinik „Bergmannsheil“ (Direktor: Prof. Dr. W. Otto)

und 9 andere Kliniken in Deutschland, Belgien, Niederlande, und Österreich mit weniger als 4 retrograden UHN Implantationen und deren kompletter prospektiver Dokumentation.

tennachteil der relativ hohen Rate an Schädigungen des N. radialis zu senken [23] und dennoch die gewünschte Stabilität zu gewährleisten.

Im Zuge des Strebens nach biologischen, schonenden operativen Verfahrensweisen galt es, eine weitere Hürde solcher Nagelsysteme, den das Schultergelenk belastenden antegraden Zugang, zu überwinden [21, 22]. Der extraartikuläre, retrograde Zugang versprach, zusammen mit der Möglichkeit der unaufgebohrten Nagelung, diesen „modernen“ biologischen Ansprüchen am ehesten gerecht zu werden [2, 24, 25].

Der diesbezüglich entwickelte „Unaufgebohrte Humerusnagel“ (UHN) (Synthes) soll in der vorliegenden Studie bezüglich seiner Leistungsfähigkeit im retrograd eingebrachten Verfahren bewertet und erste klinische Ergebnisse der damit verbundenen Frakturheilungsverläufe diskutiert werden. Die Beschreibung der operativen Vorgehensweise sollte hierbei besondere Berücksichtigung erfahren.

Patienten und Methode

Vom 1. April 1995 bis 31. Dezember 1996 wurden 102 retrograde unaufgebohrte Humerusschaftnagelungen mit dem UHN an 15 Referenzkliniken in 12 Städten Deutschlands, Belgiens, Österreichs und der Niederlande durchgeführt und deren gesamter Verlauf prospektiv bis zum 15.9.1997 verfolgt und dokumentiert. Tabelle 1 führt die Referenzkliniken mit den meisten kompletten Dokumentationen und deren Städte auf. Die Häufigkeit der Nagelimplantationen

schwankte an den einzelnen Häusern zwischen 2 und 29; 39 verschiedene Operateure hatten die Eingriffe durchgeführt, jeweils zwischen einer und 14 Operationen pro Operateur.

Die Indikationsstellung für die Nagelung wurde nicht vorgeschrieben, sondern dem an der Studie beteiligten Chirurgen überlassen. Die Fraktur mußte zumindest 2 cm distal des Collum chirurgicum und 5 cm proximal der Fossa olecrani sein.

Die Stabilisierung wurde immer mit dem in Titanlegierung gefertigten UHN durchgeführt. Von diesen 102 Frakturen waren 73 frische Humerusschaftfrakturen, 12 Pseudarthrosen, 3 Refrakturen und 14 pathologische Frakturen (Tabelle 2). Zugelassen zur Studie waren sowohl Patienten mit Einzelfrakturen, wie auch solche mit Mehrfachverletzungen und polytraumatisierte Patienten. Unter den 3 Patienten mit Refrakturen war einer zuvor konservativ behandelt worden, bei einem weiteren lag eine Osteosynthese mit einem Russell-Taylor-Nagel und bei dem 3. mittels Hackethal-Nagelung vor.

Tabelle 2

Retrograde Humerusnagelung mit dem UHN (n = 102)

FrISCHE Frakturen	73
Pseudarthrosen	12
Refrakturen	3
Pathologische Frakturen	14

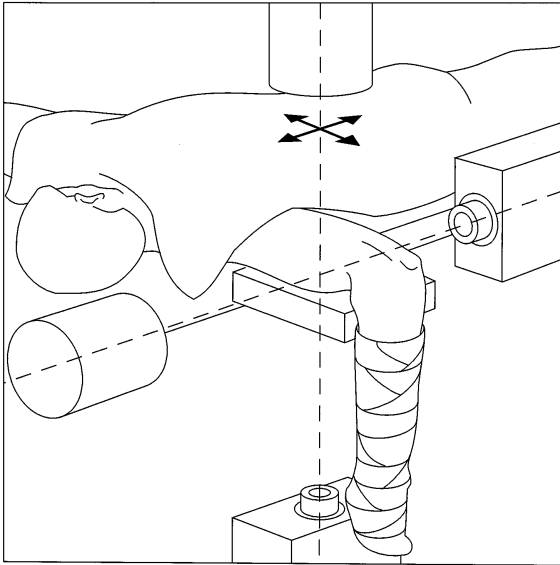


Abb. 1 ◀ Lagerung zur retrograden Nagelung mit dem UHN

Technik der retrograden Verriegelungsnagelung mit dem UHN

Der retrograde Zugang zum Humerus bietet ausreichende und sichere Bedingungen für die Nagelung von Humerusschaftfrakturen. Ohne das Ellenbogengelenk zu eröffnen ist dies bei Frakturen bis etwa 5 cm distal an die Fossa olecrani heranreichend gut möglich. Darüber hinaus können auch Frakturen im proximalen Schaftdrittel stabilisiert werden.

Um hier gute Ergebnisse zu erzielen, ist allerdings auch eine präzise Vorbereitung Voraussetzung. Bezüglich der Lagerung des Patienten sollte man sich im Klaren darüber sein, daß gerade während des Lagerungsprozesses das Risiko der zusätzlichen Weichteilschädigung und insbesondere der Schädigung des N. radialis besteht. Deswegen empfehlen wir die provisorische Humerusschienung bis zur definitiven Lagerung des Patienten zu belassen.

Lagerung

Der Patient wird in unterpolsterte Bauchlagerung gebracht. Er liegt nahe der ipsilateralen Tischkante mit dem Kopf zur Gegenseite gedreht. Der frakturierte Oberarm wird auf einem röntgengurchlässigen Seitisch oder einem speziellen Arm Brett gelagert, welches am Tisch fixiert ist. An dessen Kante wird das Ellenbogengelenk 90° gebeugt, darüber hinaus muß das Gelenk frei für

eine weitere Beugung bis 120° sein (Abb. 1).

Anschließend werden die Zugangsmöglichkeiten des Bildwändlers geprüft. Der gesamte Humerus, einschließlich Humeruskopf und Ellenbogengelenk, muß in 2 Ebenen gut darstellbar sein. Rücken- oder Seitlagerung bleiben für den retrograden Zugang nur Ausnahmefällen vorbehalten.

Auswahl des geeigneten Nagels

Da der UHN in 3 verschiedenen Durchmesser angeboten wird (6,7 mm/7,5 mm/9,5 mm) und in verschiedenen Längen verfügbar ist, müssen beide Parameter sorgfältig bestimmt werden. Der 7,5-mm-UHN stellt den Standard dar. Die Nagelung mit dem 6,7-mm-UHN wird nur bei sehr zierlichen Patienten zum Einsatz kommen, der 9,5-mm-UHN bietet sich bei osteoporotischen Knochen mit sehr weitem endomedullärem Kanal und bei pathologischen Frakturen an. Hier liegt ein spezielles röntgengurchlässiges Lineal mit Markierungen für Länge und Durchmesser vor. Allerdings setzt die korrekte Messung eine gut reponierte Fraktur voraus.

Nagelmontage

Zwei verschiedene Nagelmontagevarianten erfordern zur Entscheidung eine chirurgische Prognose vor dem Einbringen des Nagels: wird der vorliegende Frakturtyp ohne zusätzliche Kompression heilen können oder nicht? Im Fall der reinen Querfraktur empfehlen wir die Verwendung eines speziell für diesen Nagel entwickelten Kompressi-

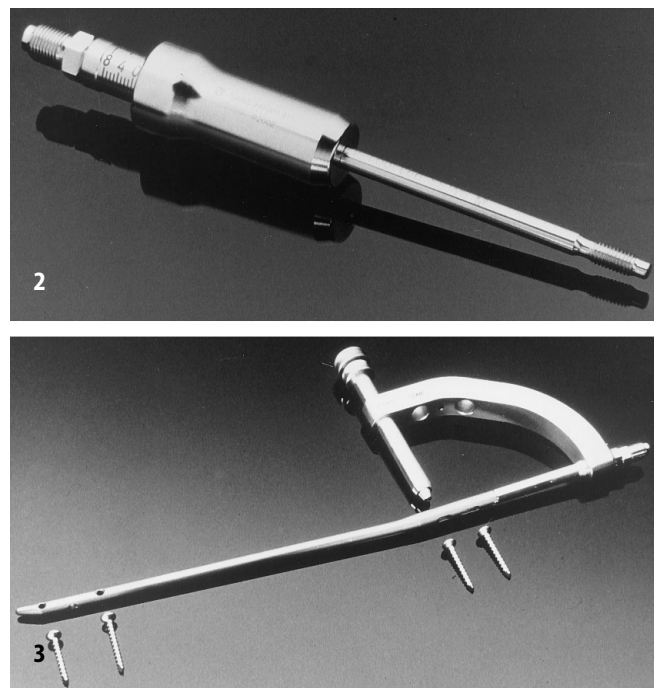


Abb. 2 ▲ Spezielles Kompressionsgerät für den UHN

Abb. 3 ▲ Nagelmontage mit Zielbügel

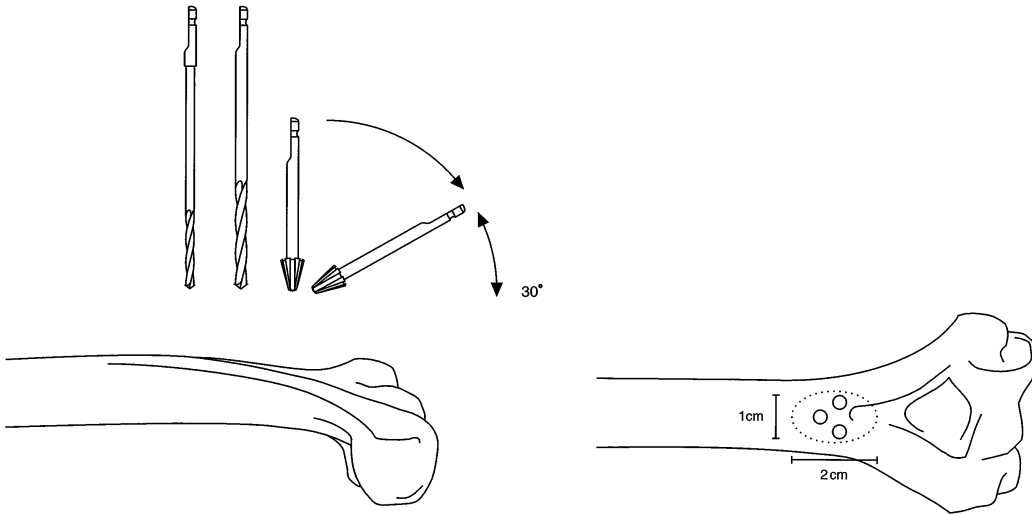


Abb. 4 ▲ Bohrung für die Eintrittspforte der Humerusmarkhöhle

onsgerätes (Abb. 2) um die Rotationsstabilität zu erhöhen und den Frakturspalt zu schließen. Hier muß das Kompressionsgerät direkt über den Verriegelungsbügel mit dem Nagel verbunden werden.

Wenn keine zusätzliche Kompression gewünscht wird, wie z. B. bei Spiralfrakturen oder Trümmerbrüchen, wird an Stelle des Kompressionsgeräts die einfache Verbindungsschraube mit dem Bügel und Nagel verbunden. Hierbei ist wichtig, daß der Scheitelpunkt der Nagelkrümmung vom Zielbügel wegweist (Abb. 3).

Zugangsweg

Dorsal am distalen Oberarm erfolgt die Hautinzision in Längsrichtung bis zur Olekranonspitze ziehend. Nach Spaltung der distalen Tricepsfasern wird die dorsale Fläche des distalen Humerus dargestellt ohne das Ellenbogengelenk zu eröffnen.

Der Eintrittspunkt in die Markhöhle findet sich im Zentrum eines gedachten Dreiecks zwischen der medialen und lateralen suprakondylären Kante und dem Dach der Fossa olecrani.

Drei 3,2-mm-Bohrungen senkrecht zum Markraum werden mit 4,5 mm überbohrt, wobei der Bohrer bis etwa 30° abgesenkt wird (Abb. 4). Der konische Fräser erzeugt eine Eintrittspforte mit 10 mm Breite und 20 mm Länge. Die distale Kante des Insertionsloches muß soweit geneigt und geglättet werden, daß der Nagel ohne Zwang eintre-

ten kann. Bei engem Isthmus sollte man sich nicht scheuen, Handbohrer einzusetzen.

Einführen des Nagels

Der instrumentierte Nagel wird ohne Gewalt und insbesondere ohne Einschlaghammer eingebracht. Mittels gleichmäßiger Drehbewegungen wird er zum Frakturspalt geführt und nach Reposition unter Bildwandler nur gering in die Spongiosa des Humeruskopfes inseriert (Abb. 5), da sich hier noch guter Halt für die proximale Verriegelung finden läßt. Falls man sich bei einer primären Radialisparese zur Exploration des N. radialis entscheidet, sollte

dies beim Erreichen des Frakturspalts durch den Nagel erfolgen.

Verriegelung

Verschiedene Verriegelungskombinationen sind sowohl proximal wie auch distal möglich. Wir empfehlen beidseits doppelt zu verriegeln. Proximale Schaftfrakturen werden vorteilhaft proximal 3-fach verriegelt.

Distal sehen wir als Standard die dorsal-ventrale 2-fache Verriegelung durch die Zieleinrichtung des Handbügels an, allerdings sind entsprechend den verschiedenen Fraktursituationen auch hier Variationen möglich.

Wird das Kompressionsgerät eingesetzt, müssen zunächst das dynamische distale Loch und dann beide proximalen Löcher verriegelt werden. Nach

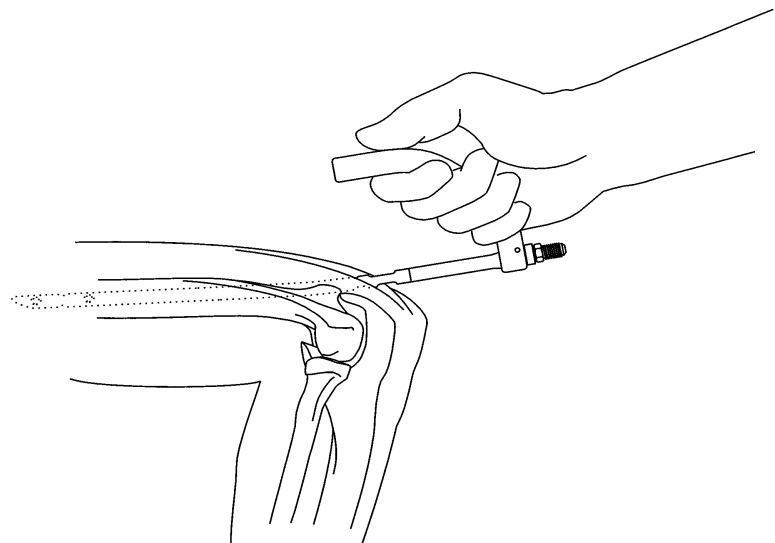


Abb. 5 ▲ Retrograde Insertion des UHN

Tabelle 3

AO-Frakturklassifikation der operierten Gruppe (n = 88) ohne pathologische Frakturen

A-Typ		49
A ₁	17	
A ₂	12	
A ₃	20	
B-Typ		31
B ₁	14	
B ₂	13	
B ₃	4	
C-Typ		8
C ₁	5	
C ₂	2	
C ₃	1	

erfolgreicher Kompression wird abschließend das distale statische Loch besetzt.

Ohne Kompressionseinheit werden initial beide distalen Löcher verriegelt, die Verwendung eines einzigen queren Bolzens bleibt Ausnahmesituationen vorbehalten.

Nach Gewährleistung einer perfekten Frakturposition erfolgt die proximale Verriegelung in Freihandtechnik mit einem röntgendurchlässigen Getriebe unter Bildwandler. Auf die Lage des N. axillaris muß geachtet werden.

Um das Innengewinde des Nagels vor Gewebewucherungen zu schützen, sollte eine Verschlusskappe verwendet werden. Verschiedene Längen dieser Verschlusskappen ermöglichen ggf. eine nachträgliche Nagelverlängerung.

Postoperative Weiterversorgung

Gewöhnlich wird postoperativ keine zusätzliche Schienung erforderlich. Schulter- und Ellenbogenübungen können sofort gebahnt werden, allerdings sollten Rotationsbewegungen gegen Widerstand bis zur Knochenheilung unterbleiben.

Die Implantentfernung ist routinemäßig nicht erforderlich und sollte Ausnahmesituationen vorbehalten bleiben.

Ergebnisse**Retrograde UHN-Implantationen**

Von den 102 retrograden UHN-Implantationen waren 59 Männer und 53 Frauen

mit Humerusschaftfrakturen betroffen. Das Durchschnittsalter betrug 54,9 Jahre, wobei der jüngste Patient 16, der älteste 99 Jahre alt waren.

Insgesamt lagen 73 frische Frakturen, 14 pathologische Frakturen, 12 Pseudarthrosen – darunter eine mit einem gebrochenen Russell-Taylor-Humerusnagel – und 3 andere Refrakturen vor. Mit Ausnahme der pathologischen Frakturen fand sich bei 33,1% ein hochenergetisches Trauma, wie Verkehrsunfälle oder Sturz aus großer Höhe. Hingegen war in 66,9% der Fälle ein niedrigenergetisches Trauma ursächlich, wie häusliche Stürze, Sturz als Fußgänger oder Zusammenprall mit niedriger Geschwindigkeit.

30,9% der Frakturen lagen im proximalen Drittel des Humerusschaftes, 61,3% im mittleren und nur 7,8% im distalen Drittel. In 54,5% der Fälle war der linke Humerusschaft gebrochen. Mit Ausnahme der 14 pathologischen Frakturen erfolgte die Einteilung nach der AO-Klassifikation. Hier gehörten 49 Frakturen dem A-Typ, 31 dem B-Typ und nur 8 dem C-Typ an. Tabelle 3 zeigt die genauere Klassifikation dieser 88 Frakturen.

Von den 73 frischen Frakturen besaßen 62 keine oder nur minimale Weichteilschäden. In 4 Fällen lagen schwere geschlossene Weichteilschäden vor und 7 Frakturen waren offen. Hier von waren 4 erstgradig, 2 zweitgradig und 1 drittgradig offen (Tabelle 4).

In 63 Fällen war die Humerusschaftfraktur eine Einzelverletzung, bei 12 Patienten bestanden mehrere Verletzungen des Muskel-Skelett-Systems; 13 Patienten waren polytraumatisiert und 14 Patienten hatten pathologische Frakturen.

Bei Aufnahme ließ sich bei einem Patienten eine Plexus brachialis Parese feststellen; 6 Patienten (5,9%) hatten eine primäre N.-radialis-Parese und einer eine primäre N.-medianus-Parese. Bei 7 Patienten (6,9%) wurde offen genagelt. In der Mehrzahl der Fälle (n = 5) waren dies Patienten mit einer Lähmung des N. radialis.

Die übliche Operationsdauer lag zwischen 60 und 90 min (Tabelle 5); 30 Frakturen wurden am Aufnahmetag, 53 während der 1. Woche und 19 später operativ versorgt.

In 4 Fällen mußten zusätzliche Implantate zur verbesserten Frakturstabi-

lität eingebracht werden: in 1 Fall wurden bei Primäroperation zusätzliche Schrauben, einmal Cerclagedraht und einmal zusätzliche Platten und Schrauben verwendet. In einem weiteren Fall mußten zusätzliche Zugschrauben in der ersten Woche nach Nagelung ergänzt werden.

In 99 Fällen wurde die Frakturfragmentadaptation als regelrecht eingestuft. In 2 Fällen bestand ein Fragmentabstand von etwa 5 mm. In 1 weiteren Fall betrug die Achsenabweichung 10°. In 98 Fällen (96,1%) beurteilte der Chirurg die Bruchstabilität ausreichend genug, um direkt postoperativ mit der Schulter- und Ellenbogenmobilisation zu beginnen.

Folgende Schwierigkeiten und Komplikationen wurden seitens des Chirurgen während der Nagelung bemerkt: erschwerte Verriegelung in Freihandtechnik an der proximalen Nagelspitze in 6 Fällen, Fissurenbildung oder Aussprengungen an der Nagel Eintrittsstelle in 4, schwierige Nagelinsertion in 3, zusätzliche Handaufbohrung in 2 Fällen, insuffiziente Bolzenstabilität, Unstimmigkeit in der Nagellängenmessung und zusätzliche Schaftfraktur in je einem Fall. Bei 4 Patienten (3,9%) wurden sekundäre Pa-

Tabelle 4

Weichteilschaden bei 73 frischen Frakturen nach Tscherno und Gustilo

Geschlossen	0–I	62
Geschlossen	II–III	4
Offen	I	4
Offen	II	2
Offen	III	1

Tabelle 5

Schnitt-Naht-Zeit der Operation (n = 102)

Zeit [min]	[%]	Kumulativ [%]
Weniger als 30	2,0	2,0
Weniger als 45	8,8	10,8
Weniger als 60	31,4	42,2
Weniger als 90	40,2	82,4
Mehr als 90	17,6	100,0

Tabelle 6

Intra- und frühe postoperative Probleme bei 102 UHN-Implantationen

Schwierige Verriegelung an der proximalen Nagelspitze	6
Fissur oder Randbruch an der Insertionsstelle	4
Schwierige Nagelinsertion	3
Zusätzliche Handbohrer	2
Insuffiziente Stabilität der Verriegelungsbolzen	1
Diskrepanz in der Messung der Nagellänge	1
Zusätzliche Schafffraktur	1
Sekundäre N.-radial-Parese	4 (3,9%)

resen des N. radialis festgestellt (Tabelle 6).

Knochenheilung und funktionelle Ergebnisse

Bei 75 dieser 102 retrograden Nagelungen konnten die Patienten prospektiv bis zur Knochenheilung weiter verfolgt werden. 7 weitere Patienten mit pathologischen Frakturen war ihrem Grundleiden zwischenzeitlich erlegen, bei den restlichen 20 Patienten war die weitere Dokumentation inkomplett und somit

Tabelle 7

Nachuntersuchung bei 75 Frakturen

Frische Frakturen	58
Pseudarthrosen	9
Refrakturen	2
Pathologische Frakturen	6

Tabelle 8

AO-Frakturklassifikation der prospektiv verfolgten Gruppe (n = 69) ohne pathologische Frakturen

A-Typ		40
A ₁	13	
A ₂	9	
A ₃	18	
B-Typ		23
B ₁	10	
B ₂	9	
B ₃	4	
C-Typ		6
C ₁	4	
C ₂	1	
C ₃	1	

nicht auswertbar; 58 dieser 75 komplett dokumentierten Fälle besaßen frische Frakturen, 9 Pseudarthrosen, 6 pathologische Frakturen und 2 Refrakturen (Tabelle 7).

Das Durchschnittsalter der 40 Männer und 35 Frauen war 56,1 Jahre, wobei der jüngste Patient 17, der Älteste 86 Jahre alt waren; 20 Frakturen lagen im proximalen Drittel, 49 im mittleren und 6 im distalen Schaffdrittel.

Der linke Humerus war in 41 Fällen betroffen (54,7%). Von den nicht-pathologischen Frakturen gehörten 40 zum A-Typ, 23 zum B-Typ und 6 zum C-Typ (Tabelle 8). 50 der 58 frischen Frakturen besaßen keinen oder nur minimale Weichteilschäden. Vier wiesen einen schweren geschlossenen Weichteilschaden auf und 4 Frakturen waren offen; 2 davon waren erstgradig, 1 zweitgradig und 1 drittgradig offen (Tabelle 9).

Die offene Nagelung war in 5 Fällen durchgeführt worden (6,7%). Iatrogene Paresen des N. radialis bestanden in 3 Fällen (4,0%), diese erholten sich aber ohne weitere Eingriffe. Knochen- oder Wundinfekte waren nicht zu verzeichnen.

39 Frakturen heilten innerhalb von 3 Monaten nach Nagelung aus, weitere 28 Frakturen innerhalb der ersten 6 Monate; 3 Frakturen benötigten 7 bzw. 8 Monate und 5 sogar mehr als 8 Monate (Tabelle 10). Bei diesen 5 Patienten (6,7%) mit Knochenheilungsproblemen wurde in 1 Fall eine Spongiosatransplantation und eine neue distale Verriegelung durchgeführt. In 3 Fällen wurde das Kompressionsgerät benutzt, wobei in 1 Fall ein neuer Nagel und in einem Fall zusätzliche Spongiosatransplantation notwendig wurden. Im 5. Fall wurde eine Plattenosteosynthese ausgeführt (Tabelle 11).

In 4 Fällen wurden Implantate direkt nach Knochenheilung entfernt; in 3 Fällen das komplette Nagelsystem und in 1 Fall lediglich die Verriegelungsschrauben.

Nach Frakturheilung beklagten 3 von 75 Patienten (4,0%) Schulterschmerzen, 2 Patienten (2,7%) berichteten von bedeutsamen Schmerzen der Ellenbogenregion.

Zur Beurteilung der Schulter- und Ellenbogenfunktion wurde nach Knochenheilung das Bewegungsausmaß von Schulterabduktion/-adduktion, Schulterextension/-flexion, Schulterexorotation/-endorotation, Ellenbogenextension/-flexion und Ellenbogenpronation/-supination sowohl des frakturierten wie auch des gesunden Armes aufgezeichnet. Die Schulter- und Ellenbogenfunktion wurde, wenn weniger als 10° Verlust des Bewegungsausmaßes in jeder Richtung bestanden, als exzellent, bei Verlust des Bewegungsausmaßes zwischen 10° and 30° als befriedigend und bei Verlust des Bewegungsausmaßes von mehr als 30° als schlecht eingestuft.

Von 75 Patienten hatten 67 (89,4%) eine exzellente, 7 (9,3%) eine befriedi-

Tabelle 9

Weichteilschaden bei 58 frischen Frakturen nach Tscherny und Gustilo

Geschlossen	0–I	50
Geschlossen	II–III	4
Offen	I	2
Offen	II	1
Offen	III	1

Tabelle 10

Ausheilungszeit bei 75 Frakturen

Zeit [Monate]	Anzahl	Kumulative Anzahl
Innerhalb 2	20	20
Innerhalb 3	19	39
Innerhalb 4	14	53
Innerhalb 5	9	62
Innerhalb 6	5	67
Innerhalb 8	3	70
Innerhalb 9	1	71
Innerhalb 10	1	72
Nach 10	3	75

Tabelle 11

Zweiteingriffe bei 75 Patienten mit UHN (n = 5 oder 6,7%)

Kompressionsgerät	3
mit neuer UHN Implantation	1
mit Spongiosatransplantation	1
Spongiosatransplantation und neue distale Verriegelung	1
Plattenosteosynthese	1

gende und einer (1,3%) eine schlechte Schulterfunktion, wobei 66 (88,0%) eine exzellente, 7 (9,3%) eine befriedigende und 2 (2,7%) eine schlechte Ellenbogenfunktion aufwiesen (Tabelle 12).

Der Chirurg bewertete den Verlauf abschließend in 90,7%, die Patienten in 94,7% der Fälle als exzellent oder gut (Tabelle 13).

Diskussion

So vieles die langen menschlichen Röhrenknochen Humerus, Tibia und Femur gemeinsam haben, so unterschiedlich sind doch die therapeutischen Konzepte der Behandlung ihrer Schaftfrakturen. Gibt es für die untere Extremität ein deutliches Pladoyer für die Marknagelung, so findet dieses Implantatesystem beim Humerus heute noch große Zurückhaltung bis zu genereller Ablehnung.

Wo liegen die Gründe?

Ein gewichtiger Grund ist natürlich mit dem generellen Infragestellen einer operativen Indikation verbunden. Wir finden in der Literatur bei der konservativen Behandlung dieser Schaftfrakturen exzellente Heilungsraten bis über 90% beschrieben [3, 11]. Dies hängt mit der Ummantelung des Humerusschafts mit gut durchbluteter Muskulatur zusammen, die die Frakturfragmente hervorragend mitperfundiert. Andererseits sind beim Humerus die ästhetischen und funktionellen Ansprüche im Vergleich zu Tibia und Femur geringer. Schulter- und Ellenbogengelenke vermögen aufgrund ihrer guten Mobilität Achsenfehlstellungen bis zu 20° auszugleichen, Verkürzungen wirken sich beim Humerus, der nicht primär das Körpergewicht zu tragen hat, wesentlich geringer aus. Als weiterer Grund gegen

Tabelle 12

Schulter- und Ellenbogenfunktion nach Ausheilung von 75 Humerusschaftfrakturen in Anzahl und Prozent

	Schulter (n [%])		Ellenbogen (n [%])	
Sehr gut	67	89,4	66	88,0
Befriedigend	7	9,3	7	9,3
Schlecht	1	1,3	2	2,7

die Marknagelung gilt deren gelenkbelastende Insertion, insbesondere das Schultergelenk bei der antegraden Insertion betreffend.

Gegner der intramedullären Verfahren führen deren verminderte Stabilität, insbesondere gegenüber Rotationskräften, an. Auch wird die Schwächung des Knochenrohrs an der Eintrittspforte als nicht akzeptabel angeführt. Die Verriegelung wird als risikoträchtig kritisiert.

Bei genauer Betrachtung zeigt sich, daß Vorbehalte gegenüber der Marknagelung des Humerus meist spezifisch implantatbezogen diskutiert werden und somit nicht als grundsätzlich akzeptiert werden können.

Der generellen Ablehnung einer operativen Versorgung von Humerusschaftfrakturen sei entgegnet, daß bei einer ganzen Reihe von Frakturtypen, aber auch Fraktursituationen die konservative Versorgung durchaus sehr kritisch und mit Frakturheilungsstörungen verbunden sein kann. So findet sich bei Quer- und kurzen Schrägfrakturen eine höhere Rate verspäteter Heilungen oder gar Pseudarthrosen, da diese Frakturen nur geringe Fragmentkontaktzonen aufweisen und oft sehr instabil sind. Ein enger Kontakt der Hauptfragmente kann bei langen Spiralfrakturen durch interponierte Muskelanteile ebenfalls verhindert werden.

Ungünstig für eine konservative Behandlung erweisen sich inkooperative Patienten, wie Drogen- und Alkoholabhängige, aber auch senile Patienten. Nicht unterschätzt werden darf die Problematik adipöser Patienten mit reduzierter Stabilisierungspotenz des Gipses.

Eine relative Indikation zur operativen Versorgung stellen somit Quer-, kurze Schräg- und lange Spiralfrakturen dar. Dies gilt auch für bilaterale

Frakturen, den frei flottierenden Ellenbogen und die Kombination einer Humerusfraktur mit Thoraxtrauma, in bestimmten Fällen auch die Kombination mit einer Läsion des N. radialis. Für eine absolute Indikation sprechen hingegen offene und pathologische Frakturen, zusätzliche Gefäßverletzungen, polytraumatisierte Patienten und Pseudarthrosen [1, 4–6, 23, 29, 30].

Die hierbei zur Verfügung stehenden Systeme – Platte und Schrauben, Fixateur externe und intramedulläre Kraftträger – besitzen allesamt ihre spezifischen Nachteile, so daß gerade für die operative Behandlung der Humerusschaftfraktur ein großer Bedarf an Entwicklungsarbeit gegeben war.

Die von der AO für die Versorgung dieser Frakturen propagierte Osteosynthese mit der breiten DC-Platte hat trotz ihrer eindeutigen hohen Stabilisierungspotenz und geringen mechanischen, infektiösen oder vaskulären Problemrate [1, 19, 28] nicht uneingeschränkte Akzeptanz finden können. Dafür ist die hohe Rate an Läsionen des N. radialis hauptverantwortlich. Dieser läuft auf langer Strecke in engem Kontakt mit dem Humerusschaft und kann insbesondere bei der dorsalen Plattenosteosynthese im Rahmen der Exploration und Mobilisierung leicht verletzt werden. In der prospektiven Multicenterstudie der deutschen AO lag die Rate

Tabelle 13

Subjektive Bewertung der retrograden UHN-Implantation (n = 75)

	Chirurg	Patient
Sehr gut	41	38
Gut	27	33
Befriedigend	6	3
Schlecht	1	1

iatrogener Verletzungen des N. radialis zwischen 3 und 29% [20], eine eigene Studie von 71 Plattenosteosynthesen zeigt eine Rate von 12,3% [23], was unter den Gesichtspunkten der eben geführten Diskussion über die konservative Behandlung dieser Frakturen kaum akzeptabel ist. Ebenso problematisch ist die Notwendigkeit zur ausgiebigen Dissektion bei langstreckigen Spiralfrakturen und Vielfragmentfrakturen bei der Plattenosteosynthese.

Der Fixateur externe tritt bei der Humerusschaftfraktur in den Hintergrund und bleibt schwierigen Ausnahmefällen vorbehalten. Dies wäre beispielsweise die weit offene Schaftfraktur mit ernsthaftem Weichteilschaden, wie etwa Kriegsverletzungen [16] und andere Schußverletzungen. Die Beeinträchtigung der Beweglichkeit und des Komforts durch den Fixateur externe betrachten wir als zu schwerwiegend, um ihn in anderen Fällen ernsthaft in Erwägung zu ziehen.

Die größte klinische und biomechanische Vielfalt bietet die ebenfalls seit Jahrzehnten bekannte Gruppe der intramedullären Implantate für den Humerus, von denen hier nur die bekanntesten Vertreter angesprochen werden sollen. Kaum ein Kliniker wird alle diese Verfahren aus der eigenen operativen Erfahrung kennen und somit ist deren Diskussion meist intensiv von persönlichen Eindrücken geprägt.

Die unverriegelten Markraum-schiener, wie sie von Hackethal, Rush und Ender auguriert wurden, sichern die axiale Stellung der Schaftfraktur [5, 7, 14, 15]. Ihre geringe Rotationsstabilität allerdings ist in biomechanischen Untersuchungen nachgewiesen [8] und muß für Quer- und kurze Schrägfrakturen als nachteilig angesehen werden. Beschrieben ist die Protrusionstendenz dieser Nägel nach proximal oder distal mit Beeinträchtigung der Schulter- oder Ellenbogenbeweglichkeit.

Aus diesen Gründen wurde versucht, das erfolgreiche Konzept der Verriegelungsmarknägel auch auf den Humerus anzuwenden. Die direkte Implantation von Küntschernägeln und deren vielfältigen Weiterentwicklungen für Tibia und Femur war immer Einzelfällen vorbehalten und kann kaum als eigenständiges Verfahren diskutiert werden [17].

Der erste Verriegelungsnagel, der von Seidel eigens für die Humerusschaftfraktur entwickelt und auch in größeren Stückzahlen implantiert wurde, muß nach Aufbohren des Markraums antegrad in den Humerusschaft eingebracht werden. Der Zwang zum Aufbohren ist hier durch die Dicke und Rigidität des Nagels bedingt. Während proximal konventionell mit Bolzen verriegelt wird, sichert distal ein Spreizmechanismus gegen Rotationsverschiebungen. Ein retrograder Zugang ist für dieses Implantat nicht möglich. Inzwischen liegen eine Reihe klinischer und biomechanischer Untersuchungen vor und die Bewertungen reichen von großer Zustimmung zum Verfahren bis hin zu massiver Kritik [12, 21, 22, 26, 27, 31, 32]. Als Verursacher geringer Rotationsstabilität wird der distale Sicherungsmechanismus mit der Spreizschraube angeschuldigt. Des Weiteren werden proximale Nagelwanderungen, wie auch das Entstehen von Fissuren oder Frakturen an der Insertionsstelle beschrieben. Generell bleibt der antegrade Zugangsweg zu diskutieren. Die Beschädigung der Rotatorenmanschette, wie auch der Knorpelschaden des lateralen Humeruskopfes können langfristig Funktion und Qualität des Schultergelenks beeinträchtigen.

Ebenfalls primär für den antegraden Zugang konzipiert, konnte mit dem Russell-Taylor Humerusnagel auch ein Verriegelungsnagel vorgelegt werden, welcher sich bis dahin erstmalig für den retrograden Zugang zu Markhöhle des Humerus eignete. Die jeweils einfache proximale und distale Verriegelungsmöglichkeit zeigt bereits den Versuch einer Erhöhung der Rotationsstabilität, welcher aber durch einen Verriegelungsschlitz anstelle eines Verriegelungslochs am Nagelende nicht den gewünschten Effekt bringen kann. Bei Verwendung des soliden 7-mm-Nagels entfällt das Aufbohren, bei dem Standardnagel mit 8 mm wird es allerdings in der Regel notwendig. Nach unserer Erfahrung erweist sich dieser Nagel trotz der Möglichkeit des gelenkschonenden retrograden Zugangs sowohl durch sein eigenes Design, wie auch die Konstruktion des Instrumentariums als noch wesentlich verbesserungswürdig, wenn auch die klinischen Ergebnisse als positiv zu bewerten sind [2, 9, 24, 25]. Ähnlich positiv wird von der retro-

graden Implantation des Monachia-Nagels [13] und eines modifizierten Grosse-Kempf-Tibianagels [10] berichtet. Bei allen 3 retrograden Nagelsystemen fehlen allerdings noch Publikationen mit größeren Implantationszahlen.

Die Erfahrung mit und auch die Kritik an dem Russell-Taylor-Nagel waren wichtige Plattformen um einen Verriegelungsnagel spezifisch für den retrograden Zugang zum Humerusschaft zu entwickeln. Das Ergebnis ist der UHN, dessen klinische Erfahrungen und Ergebnisse hier zur Diskussion stehen (Abb. 6).

So wurde das Design des Nagels und hier insbesondere sein Krümmungsradius den anatomischen Vorgaben des Humerusschafts angepaßt. Um der Morphologie der Kondylenregion gerecht zu werden, mußte auch der Zielbügel symmetrisch adaptiert und deutlich verjüngt werden, da der Russell-Taylor-Nagel in dieser Region beim Einbringen durch den voluminösen Zielbügel erheblich behindert wird und ein erhöhtes Risiko der Fraktur- oder Fissurbildung an der dorsalen Kortikalis des Insertionslochs in sich birgt.

Besonderes Augenmerk wurde der Verbesserung der Rotationsstabilität des Systems geschenkt. Sowohl an der Basis wie auch an der Spitze des UHN bestehen jeweils 3 Verriegelungsmöglichkeiten. Die interfragmentäre Kompression insbesondere für die pseudarthrosegefährdeten Quer- und kurzen Schrägfrakturen kann mittels eines speziellen Kompressionsgeräts erzeugt werden.

Die oben präsentierten klinischen Ergebnisse sowohl des intraoperativen Handlings, wie auch der Frakturheilungsverläufe und der Funktionsqualität des betroffenen Arms sprechen dafür, daß die Entwicklungsdetails des UHN auch in der klinischen Anwendung sich positiv auswirken (Abb. 7). Dies bedeutet nicht, daß hierbei keine Probleme aufgetreten seien. Allerdings sollte auch bedacht werden, daß die hier analysierten 102 retrograden Nagelungen an insgesamt 15 Referenzkliniken durch 39 verschiedene Operateure durchgeführt wurden. Wie bei jedem neuen Verfahren ist zu erwarten, daß auch hier eine Reihe der aufgetretenen Probleme nach dem Einpendeln der „learning curve“ nicht mehr vorkommen werden. Im Vordergrund der Kom-

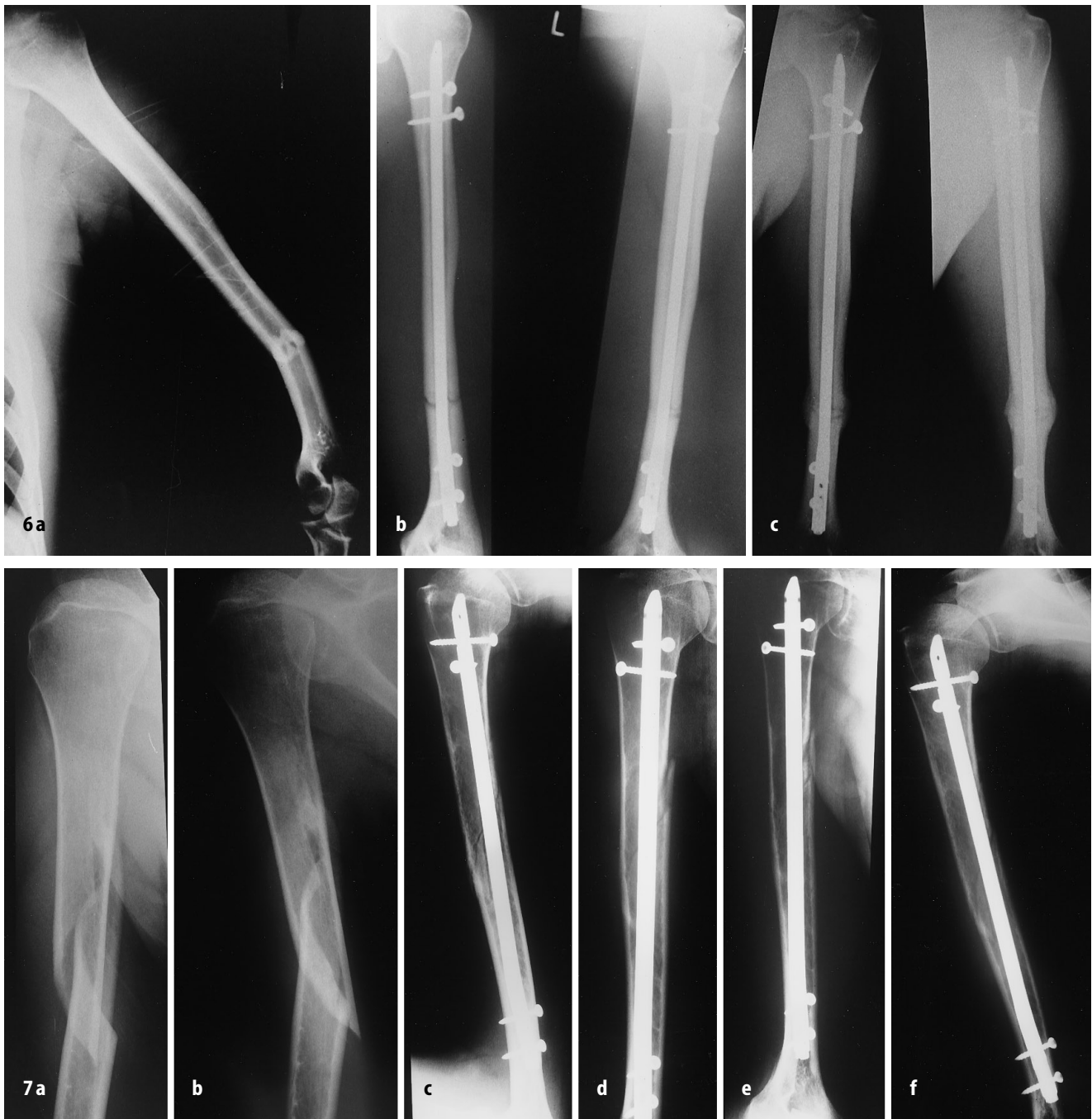


Abb. 6 ▲ a Querfraktur des linken Humerus eines 23-jährigen polytraumatisierten Patienten. b Retrograde Nagelung mit dem 7,5-mm-UHN, doppelte Verriegelung distal und proximal. c Frakturkonsolidation nach 12 Wochen

Abb. 7 ▲ a,b Spiralfaktur des rechten Humerus eines 43-jährigen Patienten nach Arbeitsunfall. c,d Retrograde Nagelung mit dem 9,5-mm-UHN, doppelte Verriegelung distal und proximal. e,f Frakturkonsolidation nach 12 Wochen

pplikationen stehen Probleme bei der Verriegelung in Freihandtechnik an der proximalen Nagelspitze ($n = 6$, entspricht 5,9%) und Fissuren oder Ausbrüche an der dorsalen Kortikalis der

Insertionsstelle ($n = 4$, entspricht 3,9%). Sekundäre Schäden des N. radialis ($n = 4$, ebenfalls 3,9%) rangieren allerdings unter der durchschnittlichen Rate bei der Plattenosteosynthese. Eine

Reihe derartiger Nervenläsion entsteht bereits durch bruske Lagerungsmanöver im Operationssaal und man sollte gerade bei der Bauchlagerung erst die Oberarmgipsschiene abnehmen, wenn die Auslagerung des Arms auf das Arm-brett gesichert ist. Bei Frakturen am Übergang vom mittleren zum distalen Schaftdrittel kann der N. radialis durch eine kleine anterolaterale Hautinzision dargestellt und retrahiert werden.

Adipöse oder muskulöse Patienten können die Platzierung der proximalen Bolzen in Freihandtechnik erschweren.



Abb. 8 ▲ a,b Nach proximal ausgedehnte Spiralfaktur des rechten Humerus einer 75 jährigen Patientin nach häuslichem Sturz. c, d Retrograde Nagelung mit dem 7,5-mm-UHN, doppelte Verriegelung distal und proximal, zusätzliche Zerklage zur Fragmentadaptation. e,f Frakturkonsolidation nach 15 Wochen

Eine Sicherung des Bolzens mit einem langen Faden bis zum sicheren Sitz im Bohrloch kann hier hilfreich sein. Um Fissuren oder Aussprengungen an der Eröffnungsstelle zur Markhöhle zu vermeiden, ist sowohl die Schaffung eines ausreichend großen, aber auch distal-dorsal konsequent abgeschrägten Insertionslochs notwendig. Sollte der Isthmus bei der Insertion zuviel Reibungswiderstand präsentieren, empfiehlt sich die Verwendung der Handbohrer für den Markraum. Von größter Bedeutung ist das manuelle Eintreiben des Nagels unter axialen Drehbewegungen. Eine Reihe hier dokumentierter Fissuren entstanden durch den Einsatz eines Hammers, was wir für obsolet erachten.

Den weiteren klinischen Verlauf der hier dokumentierten 75 Patienten betreffend, hatten wir von 5 Fällen (6,7%) mit Knochenheilungsstörungen berichtet. Lediglich in 1 Fall entschied sich der Operateur zum völligen Verfahrenswechsel und führte nach Nagelentfernung die Plattenosteosynthese durch. In dreien dieser 5 Fälle wurde im Zweit-

eingriff das Kompressionsgerät, teilweise mit Anlagerung spongiösen Knochens, eingesetzt. Hierzu sei bemerkt, daß dieses Gerät während 4/5 der Studienzeit noch nicht verfügbar war. Wir erwarten, daß beim gezielten Einsatz dieses Geräts gerade bei den Quer- und kurzen Schrägfrakturen die Rate der Knochenheilungsstörung nach Verriegelungsnagelung geringer wird. Denn sowohl ausreichende Fragmentadaptation wie auch eine hohe Rotationsstabilität sind notwendige Voraussetzungen, die Entwicklung von Pseudarthrosen zu minimieren. Wenn wir uns durch die Ergebnisse bestätigt sehen, daß der UHN bei allen Fraktursituationen am Humerusschaft sinnvoll zum Einsatz kommen kann, so spricht nichts dagegen, in bestimmten Fraktursituationen, wie beispielsweise bei ausgedehnten langen Spiralfrakturen, zusätzlich Implantate, wie etwa Zugschrauben oder Zerklagedraht, zu verwenden (Abb. 8).

Aufgrund der kritischen Stimmen zum antegraden Zugang mit entsprechender Beeinträchtigung des Schultergelenks waren wir besonders an den

funktionellen Ausheilungsergebnissen des Ellenbogengelenks interessiert. Wir sehen uns in der Propagation des retrograden extraartikulären Zugangs durch die Dokumentation guter funktioneller Ergebnisse bestätigt.

In der Behandlung pathologischer Frakturen war das eigentliche Ziel der Stabilisierung die Schmerzfreiheit, aber auch die Wiederherstellung der Armfunktion, was in allen Fällen erreicht werden konnte.

Eine Sonderrolle nehmen die Pseudarthrosen ein. Der therapeutische Einsatz eines Verriegelungsnagels ist hier umstritten [18]. Wir sehen allerdings auch bei der Humerusschaftpseudarthrose durchaus eine Indikation für den UHN. Allerdings muß von Fall zu Fall sehr kritisch abgewogen werden, ob nicht neben der interfragmentären Kompression auch aufgebohrt werden und/oder die Knochen- transplantation erfolgen sollte.

Fazit für die Praxis

Zusammenfassend beurteilen wir den UHN als ein ausgereiftes Implantat in der Vervollständigung der unaufgebohrten Verriegelungsnägel für Femur und Tibia. Er wird seiner Aufgabe gerecht, bei schonendem Zugangsweg und biologischer Behandlung der

Frakturzone eine Frakturstabilisierung mit einem hohen Maß an Rotationsstabilität zu gewährleisten. Die guten Ergebnisse der Schulter- und Ellenbogengelenksbeweglichkeit, teilweise schon in der ersten postoperativen Woche, bestätigen dies. Auf dieser Grundlage propagieren wir den retrograden Zugang für die operative Behandlung von Humerusschaftfrakturen und nutzen den antegraden Zugang nur in Ausnahmefällen, wo es die spezifische Fraktursituation erforderlich macht.

Literatur

- Bell MJ, Beauchamp CG, Kellam JK, McMurry RY (1985) **The results of plating humeral shaft fractures in patients with multiple injuries: the Sunnybrook experience.** J Bone Joint Surg [Br] 67: 293–296
- Blum J, Rommens PM, Janzing H (1997) **The unreamed humeral nail – a biological osteosynthesis of the upper arm.** Acta Chir Belg 97: 184–189
- Böhler L (1964) **Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmschaftbrüchen.** Langenbecks Arch Klin Chir 308: 465–475
- Brumback RJ, Bosse MJ, Poka A, Burgess AR (1986) **Intramedullary stabilization of humeral shaft fractures in patients with multiple trauma.** J. Bone Joint Surg [Am] 68: 960–970
- Brug E, Westphal T, Schäfers G (1994) **Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen.** Unfallchirurg 97: 633–638
- Forster RJ, Dixon GL, Bach AW, Appleyard RW, Green TM (1985) **Internal fixation of fractures and non-unions of the humeral shaft: indications and results in a multi-center study.** J. Bone Joint Surg [Am] 67: 857–864
- Hall RF Jr, Pankovich AM (1987) **Ender nailing of acute fractures of the humerus: a study of closed fixation by intramedullary nails without reaming.** J Bone Joint Surg [Am] 69: 558–567
- Henley MB, Monroe M, Tencer AF (1991) **Biomechanical comparison of methods of fixation of a midshaft osteotomy of the humerus.** J Orthop Trauma 5: 14–20
- Ikpeke JO (1994) **Intramedullary interlocking nailing for humeral fractures: experiences with the Russell-Taylor humeral nail.** Injury 25: 447–455
- Ingman AM, Waters DA (1994) **Locked intramedullary nailing of humeral shaft fractures: implant design, surgical techniques and clinical results.** J Bone Joint Surg [Br] 76: 23–29
- Kayser M, Muhr G, op den Winkel R, Ekkernkamp A (1986) **Funktionelle Behandlung der Humerusschaftfraktur nach Sarmiento: Ergebnisse nach 3-jähriger Erfahrung.** Unfallchirurg 89: 253–258
- Kelsch G, Deffner P, Ulrich C (1997) **Die Humerusverriegelungsnagelung nach Seidel. Klinische Ergebnisse nach 100 Anwendungen.** Unfallchirurg 100: 111–118
- Kessler SB, Nast-Kolb D, Brunner U, Wischhöfer E (1996) **Marknagelung des Oberarmes als Alternative zur konservativen Therapie und zur Plattenosteosynthese.** Orthopäde 25: 216–222
- Kocher H, Ledermann M (1980) **Sammelergebnisse mit der Bündelnagelung bei Oberarmschaftfrakturen.** Helv Acta Chir 47: 93–96
- Mackay I (1984) **Closed rush pinning of fractures of the humeral shaft.** Injury 16: 178–181
- Mandrella B, Abebaw TH, Hersi ON (1997) **Defektschußbrüche des Oberarmes und ihre Behandlung unter schwierigen Bedingungen.** Unfallchirurg 100: 154–158
- Marty B, Kach K, Friedl HP, Trentz O (1994) **Die Marknagelung der Humerusschaftfraktur.** Unfallchirurg 97: 424–429
- McKee MD, Miranda MA, Riemer BL (1996) **Management of humeral nonunion after the failure of locking intramedullary nails.** J Orthop Trauma 10: 492–499
- Nast-Kolb D, Schweiberer L (1989) **Wandel und Fortschritt in der Frakturbehandlung des Oberarmschaftes.** Orthopäde 18: 208–213
- Nast-Kolb D, Knoefel WT, Schweiberer L (1991) **Die Behandlung der Oberarmschaftfraktur. Ergebnisse einer prospektiven AO-Sammelstudie.** Unfallchirurg 94: 447–454
- Riemer BL, Butterfield SL, D'Ambrosia R, Kellam J (1991) **Seidel intramedullary nailing of humeral diaphyseal fractures: a preliminary report.** Orthopedics 14: 239–246
- Robinson CM, Bell KM, Court-Brown CM, McQueen MM (1992) **Locked nailing of humeral shaft fractures: experience in Edinburgh over a two-year period.** J. Bone Joint Surg [Br] 74: 558–562
- Rommens PM, Vansteenkiste F, Stappaerts KH, Broos PL (1989) **Indikationen, Gefahren und Ergebnisse der operativen Behandlung von Oberarmfrakturen.** Unfallchirurg 92: 565–570
- Rommens PM, Verbruggen J, Broos PL (1995) **Retrograde locked nailing of humeral shaft fractures. A review of 39 patients.** J Bone Joint Surg [Br] 77: 84–89
- Rommens PM, Verbruggen J, Broos PL (1995) **Retrograde Verriegelungsnagelung der Humerusschaftfraktur.** Unfallchirurg 98: 133–138
- Ruf W, Pauly E (1993) **Zur Problematik der Humerusverriegelungsnagelung.** Unfallchirurg 96: 323–328
- Seidel H (1989) **Humeral locking nail: a preliminary report.** Orthopedics 12: 219–226
- Siebert CH, Heinz BC, Höfler HR, Hansis M (1996) **Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen.** Unfallchirurg 99: 106–111
- Tscherne H (1972) **Primäre Behandlung der Oberarmfrakturen.** Langenbecks Arch Chir 332: 379–384
- Van der Griend R, Tomasin J, Ward EF (1986) **Open reduction and internal fixation of humeral shaft fractures.** J. Bone Joint Surg [Am] 68: 430–433
- Varley GW (1995) **The Seidel locking humeral nail: the Nottingham experience.** Injury 26: 155–157
- Vécsei N (1994) **Kritische Analyse der Verriegelungsnagelung zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen.** Wien Klin Wochenschr 106: 397–400