

Aus dem Fachbereich der Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

Unfallchirurgische Klinik des Markus-Krankenhauses
(Akademisches Lehrkrankenhaus der Johann Wolfgang Goethe-Universität)
Ehemaliger Chefarzt: Professor Dr. med. H. Weigand

**Die Versorgung von Humerusschaftfrakturen mit der Bündelnagelung
nach Hackethal
Analyse der eigenen Behandlungsergebnisse
und Vergleich mit den derzeit gängigen Verfahren**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Johann Wolfgang Goethe-Universität
Frankfurt am Main

vorgelegt von
Ines Gabel
aus Frankfurt

Frankfurt am Main, 2011

Dekan:

Prof. Dr. med. J.M. Pfeilschifter

Referent:

Prof. Dr. med. H. Weigand

Korreferent:

Prof. Dr. med. I. Marzi

Tag der mündlichen Prüfung:

01.11.2011

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Ziele der vorliegenden Arbeit	
1.2.	Allgemeines	1
1.2.1.	Anatomie des Humerus unter besonderer Berücksichtigung des Nervus radialis	2
1.2.2.	Pathophysiologie der Entstehung von Oberarmchaftfrakturen	3
1.2.3.	Klassifikationsschemata von Oberarmchaftfrakturen	4
1.2.4.	Physiologie der Knochenheilung	8
1.3.	Behandlungsverfahren bei der Therapie von Oberarmchaftfrakturen	11
1.3.1.	Historische Entwicklung der Therapieverfahren bei Oberarmchaftfrakturen	11
1.3.2.	Geschichte der Bündelnagelung	13
1.3.3.	Behandlungsziele bei der Versorgung von Oberarmchaftfrakturen	15
1.3.4.	Aktuelle konservative Therapie zur Behandlung von Oberarmchaftfrakturen	15
1.3.5.	Aktuelle operative Therapie zur Behandlung von Oberarmchaftfrakturen	18
1.3.6.	Operative Zugänge zum Oberarmchaft	24
2.	Material und Methode	27
2.1.	Eigenes Vorgehen bei der Versorgung von Oberarmchaftfrakturen	27
2.1.1.	Präoperatives Vorgehen (Diagnostik und Akuttherapie)	27
2.1.2.	Operation	29
2.1.3.	Nachbehandlung	32
2.2.	Auswertung der Krankenblattunterlagen	33
2.3.	Nachuntersuchung	34
2.3.1.	Fragebogen	34
2.3.2.	Klinischer Befund	36
2.3.3.	Radiologischer Befund	37
2.3.4.	Gesamtbeurteilung	37
2.3.4.1.	Vorstellung des in der Arbeit verwendeten Bewertungsschlüssels nach Kwasny	37

2.3.4.2.	Vorstellung anderer in der Literatur beschriebenen Bewertungsschlüssel zur Beurteilung der Behandlungsergebnisse nach Oberarmschaftfrakturen	40
2.3.4.2.1	Bewertungsschlüssel nach Baranowski	41
2.3.4.2.2	Bewertungsschlüssel nach Wasmer	41
2.3.4.2.3.	Bewertungsschlüssel mit den Kriterien Beweglichkeit des Schulter- und Ellenbogengelenks	42
2.3.4.2.4.	Bewertungsschlüssel mit dem Kriterium Schulterbeweglichkeit	43
2.3.4.2.5.	Bewertungsschlüssel nach dem Constant-Score	43
3.	Ergebnisse	44
3.1.	Auswertung der Krankenblattunterlagen	44
3.1.1.	Auswertung des stationären Krankenblattes	44
3.1.2.	Auswertung der OP-Unterlagen	48
3.1.3.	Kasuistiken für komplikationslose Verläufe	49
3.1.4.	Komplikationen	53
3.1.5.	Kasuistiken für Verläufe mit Komplikationen	53
3.2.	Auswertung der Nachuntersuchungsergebnisse	58
3.2.1.	Schmerzsymptomatik	58
3.2.2.	Funktion	58
3.2.3.	Stabilität	59
3.2.4.	Radiologische Veränderungen	59
3.2.5.	Narbenverhältnisse	60
3.2.6.	Patientenurteil	60
3.2.7.	Gesamtbeurteilung der Untersuchungsergebnisse	61
3.2.7.1.	Bewertung nach dem in der Arbeit verwendeten Bewertungsschlüssel nach Kwasny	61
3.2.7.2.	Bewertung nach dem Bewertungsschlüssel von Baranowski	62
3.2.7.3.	Bewertung nach dem Bewertungsschlüssel von Wasmer	62
4.	Diskussion	64
5.	Zusammenfassung	83

6.	Summary	85
7.	Literaturverzeichnis	87
8.	Lebenslauf	96
Anhang: Schriftliche Erklärung		
Danksagung		

Abkürzungsverzeichnis:

Abkürzung:

A.	=	arteria
Abb.	=	Abbildung
a.-p.	=	anterior-posterior
AO	=	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ASIF	=	Association for the Study of Internal Fixation
bzw.	=	beziehungsweise
ca.	=	circa
cm	=	Zentimeter
CPM	=	continuous passive motion
DCP	=	dynamic compression plate
d.h.	=	das heißt
EKG	=	Elektrokardiogramm
g	=	Gramm
ggf.	=	gegebenenfalls
H	=	Humerus
i.v.	=	intravenös
KD	=	Kirschnerdraht
KHK	=	koronare Herzkrankheit
LCDCP	=	low contact dynamic compression plate
LCP	=	locking compression plate
li.	=	links
M./m.	=	musculus
max.	=	maximal
mm	=	Millimeter
N./n.	=	nervus
n. Chr.	=	nach Christi Geburt
o.g.	=	oben genannte
OP	=	Operation
PVJ	=	Polyvidonjod
PH	=	proximaler Humerus
PHN	=	proximaler Humerusnagel

re.	=	rechts
s.c.	=	subcutan
SHT	=	Schädelhirntrauma
sog.	=	sogenannte
UHN	=	unaufgebohrter Humerusverriegelungsnagel
u.U.	=	unter Umständen
V.	=	vena
V.a.	=	Verdacht auf
v.a.	=	vor allem
v. Chr.	=	vor Christi Geburt
vgl.	=	vergleiche
z.B.	=	zum Beispiel
z.T.	=	zum Teil

1. Einleitung

1.1. Ziele der vorliegenden Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es, das Behandlungskonzept der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses zur operativen Versorgung von Oberarmschaftbrüchen mittels einer Bündelnagelung zu überprüfen. Dabei werden zunächst die mittels einer Bündelnagelung versorgten Patienten erfasst und nachuntersucht. Die Ergebnisse werden anhand eines Bewertungsschlüssels beurteilt und mit den Ergebnissen der in der Literatur angegebenen Operationsverfahren und konservativen Therapiekonzepten verglichen. Die Vor- und Nachteile der verschiedenen Behandlungsmethoden sollen unter besonderer Berücksichtigung der Bündelnagelung in dieser Arbeit erörtert werden.

1.2. Allgemeines

Zur Charakterisierung der Oberarmschaftfraktur wird immer wieder *Lorenz Böhler* zitiert (9), der diese Fraktur als die „gutartigste aller Frakturen bezeichnet“, die „bei entsprechender Verbandstechnik, von ganz seltenen Ausnahmen abgesehen, fast immer auf einfachste Weise konservativ behandelt werden kann“. Die Inzidenz der Humerus-schaftfrakturen wird mit 1% der Extremitätenfrakturen angegeben; einfache Frakturformen vom Typ A und B nach AO überwiegen; Mehrfragmentbrüche treten nur in 16% auf (76,113,120) und der Anteil offener Frakturen liegt bei etwa 6% (113). Primäre Radialisschäden finden sich in ca. 8%, diese v.a. bei Frakturen des mittleren und distalen Schaftdrittels (76,113,54). Bei der Behandlung dieser Fraktur stehen verschiedene konservative und operative Verfahren zur Verfügung, die sich im Laufe der Zeit weiterentwickelt und verändert haben. Die früheren Ruhigstellungsverfahren erforderten meist eine mehrwöchige Immobilisierung der angrenzenden Gelenke, so dass die operative Stabilisierung mit dem Aspekt der Frühmobilisierung weiterhin als Alternative galt. Mit der Entwicklung der Brace-Behandlung nach Sarmiento in den 70er Jahren hatte sich die konservative Behandlung weitgehend als Standardtherapie der Oberarmschaftfraktur durchgesetzt. Wie man beim Studium der Literatur ersehen kann, wird trotzdem seit Jahrzehnten über die beste Methode zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen diskutiert.

1.2.1. Anatomie des Humerus unter besonderer Berücksichtigung des Nervus radialis

Der Oberarmknochen steht gelenkig mit Skapula, Ulna und Radius in Verbindung. Er besteht aus einem Humerusschaft und einem proximalen und distalen Ende. Zum proximalen Ende gehören der halbkugelförmige überknorpelte Oberarmgelenkkopf, das Caput humeri, das Collum anatomicum und unterhalb davon das Tuberculum majus und minus. Am Übergang zum Schaft liegt das Collum chirurgicum. Im Schaftbereich befindet sich die Ansatzstelle des Deltamuskels, die Tuberositas deltoidea, und an der Rückseite des Schaftes der Sulcus n. radialis, eine spiralig verlaufende Rinne, in der sich der gleichnamige Nerv mit A. und V. profunda brachii anlagert.

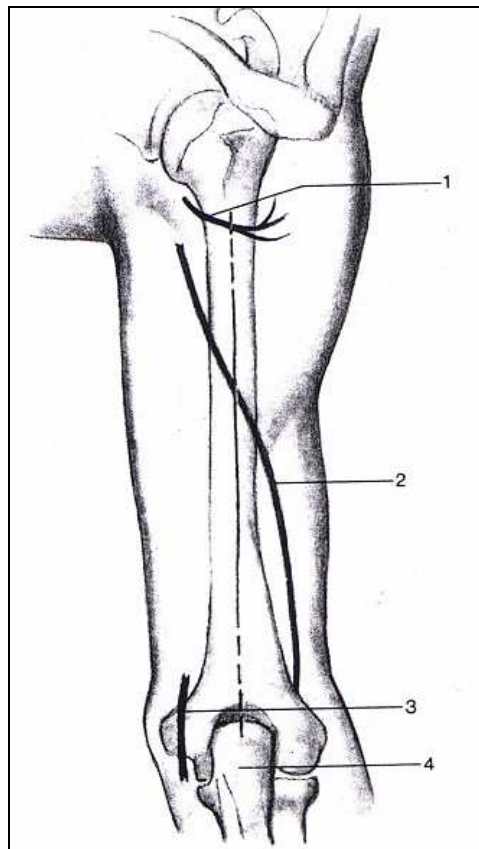


Abb. 1 Verlauf des N. radialis am Humerus (79), 1 N. axillaris, 2 N. radialis, 3 N. ulnaris, 4 Olekranon

Das distale Ende besteht aus dem medialen und lateralen Epicondylus und der gelenkigen Verbindung mit dem Unterarm, dem Condylus humeri, der sich in die Trochlea humeri und das Capitulum humeri aufteilt. Der Winkel zwischen Schaftachse und dem Caput beträgt ungefähr 130° , der Retroversionswinkel des proximalen Endes gegenüber dem Schaft beträgt 20 bis 30° (49,105). Die Markhöhle des Humerus verjüngt

sich eiszapfenförmig nach distal und ist in zwei Ebenen leicht s-förmig gekrümmt (19). Diese besondere asymmetrische Form der Markhöhle mit der distalen Einengung und dem exzentrischen Isthmus erklärt auch die Schwierigkeiten einer Marknagelung mit einem starren Nagel. Der N. radialis entspringt aus dem hinteren Faszikel des Armplexus und windet sich in seinem Verlauf im Sulcus n. radialis am Oberarm schraubenförmig um das mediale und distale Schaftdrittel (Abb. 1). Dabei liegt er zusammen mit der Arteria profunda brachii, dem wichtigsten Gefäß zur Versorgung des Humerus und des M. deltoideus, dem Knochen dicht an, zwischen Nerv und Knochen befindet sich nur eine 1-3 mm starke Bindegewebsschicht. Distal durchbricht er das Septum intermuskulare brachii laterale und gelangt in der Tiefe zwischen dem M. brachioradialis und dem M. brachialis in die Ellenbeuge. Dort teilt er sich in einen oberflächlichen sensiblen und einen tiefen motorischen Ast (31,49,81,105). Letzterer zieht durch den M. supinator und versorgt die dorsale Muskelgruppe des Unterarms, die für die Dorsalflexion der Hand verantwortlich ist. Beim Ausfall des Ramus profundus resultiert die sogenannte "Fallhand", beim Ausfall des Ramus superficialis resultieren sensible Ausfälle der Haut über der Streckseite des Ober- und Unterarms sowie der dorsalen Haut der Grund- und Mittelfinger der radialen 2 1/2 Finger (81,105).

1.2.2. Pathophysiologie der Entstehung von Oberarmschaftfrakturen

Frakturen lassen sich generell zunächst in traumatisch bedingte und nicht traumatisch bedingte Frakturen einteilen. Erstere kommen durch indirekte und direkte Gewalteinwirkung zustande wohingegen nicht traumatisch bedingte Frakturen durch krankhafte Prozesse am Skelett ausgelöst werden, die ohne nennenswertes Trauma zu einer Kontinuitätsunterbrechung des Knochens führen können. Sie werden auch Spontan- oder pathologische Frakturen genannt. Unabhängig davon ist noch die Ermüdungsfraktur anzuführen, die ohne äußere Gewalteinwirkung infolge chronischer Schwächung durch rezidivierende Mikrotraumen auftritt (57,78,110).

Bei indirekten Traumen tritt die Krafteinwirkung bruchfern ein, bei direkten kommt es direkt am Ort der Krafteinwirkung zum Knochenbruch. Während die proximalen und die distalen Oberarmfrakturen hauptsächlich durch indirekte Mechanismen (57,62,78,79,110), d.h. zum Beispiel Sturz auf den ausgestreckten Arm, zustande kommen, werden die Oberarmschaftfrakturen häufig durch direkte Traumata (14,76,112) wie z.B. Sturz oder Schlag auf den Oberarmschaft direkt verursacht.

Direkte Krafteinwirkungen verursachen Quer-, Biegungs- oder Stückfrakturen, indirekte Gewalteinwirkungen führen zu Spiralfrakturen mit und ohne Drehkeil (106).

Als Unfallursachen werden überwiegend Unfälle im Verkehr, im Haushalt, bei der Arbeit und beim Sport angegeben. Als Kuriosum findet man unter Jugendlichen die Oberarm-Spiralfaktur nach „Armdrücken“. Die prozentuale Verteilung variiert in der Literatur für Verkehrsunfälle zwischen 33,3 und 70%, für Unfälle im Haushalt zwischen 17,5 und 30,7%, für Arbeitsunfälle zwischen 5,1 und 14,3 % und für Sportunfälle zwischen 2,6 und 23,8% (32,34,45,95,96).

1.2.3. Klassifikationsschemata von Oberarmschaftfrakturen

Knochenbrüche kann man anhand der Bruchmechanismen, der Bruchart und der Lokalisation einteilen (57,62,124). Bruchmechanismen sind Biegungs-, Dreh-, Abriss-, Abscher- und Kompressionsvorgänge (110,124). An Brucharten (Abb. 2) kommen vor: Meißel-, Quer-, Schräg-, Biegungsfraktur mit Biegungskeil, Spiral-, Mehrfragment-, Stück- und Trümmerfraktur (57,62,78). Bei der Lokalisation unterscheidet man in Schaft- und Gelenkbrüche oder in Frakturen im proximalen, mittleren und distalen Drittel.

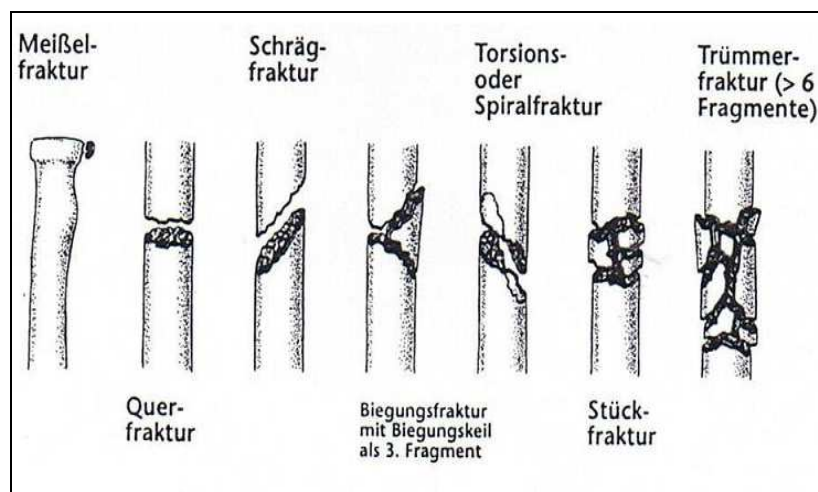


Abb. 2 Brucharten (57)

Frakturen lassen sich außerdem noch in geschlossene und offene Frakturen unterteilen (62,78,110,124).

Für die geschlossenen Frakturen hat sich die Klassifikation von *Tscherne* und *Oestern* (87) (1983) bewährt (G steht für geschlossen) (Abb. 3):

G 0: Keine, fehlende oder nur unbedeutende Weichteilverletzung. Die Fraktur umfasst einfache Bruchformen.

G I: Oberflächliche Schürfung oder Kontusion durch Fragmentdruck von innen. Einfache und mittelschwere Bruchformen

G II: Tiefe kontaminierte Schürfwunde sowie umschriebene Haut- oder Muskelkontusion durch direkte Gewalteinwirkung. Mittelschwere bis schwere Bruchformen, drohendes Kompartementsyndrom.

G III: Ausgedehnte Hautkontusionen, Hautquetschung oder Zerstörung von Muskulatur, subkutanes Decollement. Schwere Bruchformen, Knochenzertrümmerungen, manifestes Kompartementsyndrom oder Verletzung eines arteriellen Hauptgefäßes.

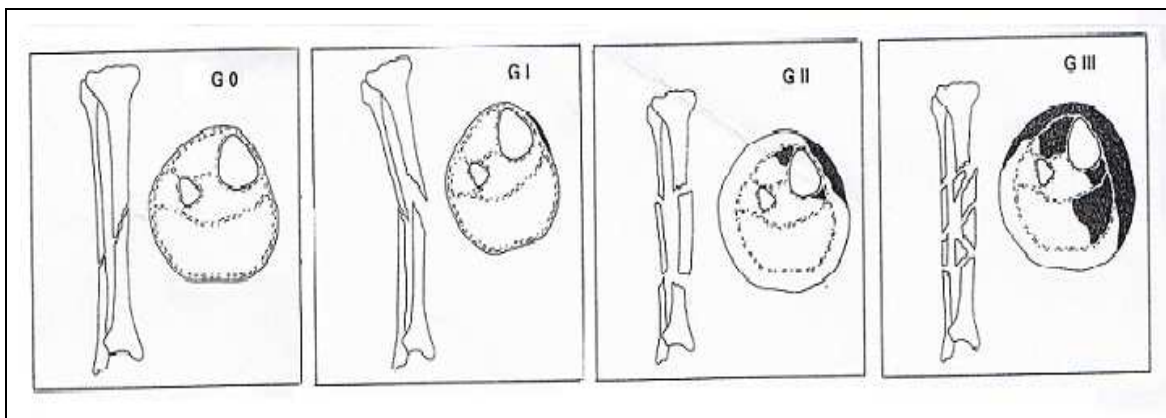


Abb. 3 Klassifikation von Frakturen mit geschlossenem Weichteilschaden nach Tschern und Oestern (87)

Bei den offenen Frakturen ist aktuell die gebräuchlichste Einteilung die Klassifikation nach *Anderson* und *Gustilo* (35) (O steht für offen), da sie den Weichteilschaden exakter und differenzierter beschreibt als die Einteilung nach *Tschern* und *Oestern* (87).

Einteilung nach *Anderson* und *Gustilo*:

- O I: Komplikationswunde < 1 cm
- O II: Komplikationswunde > 1 cm
- O III: Schwere Weichteilzerreiung

- O III A: Offene Fraktur mit ausreichender Weichteilbedeckung, ungeachtet der schweren Weichteilzerreißung. Rasansträumen, ungeachtet der Größe der Kontaminationswunde
- O III B: Offene Fraktur mit ausgedehnter Weichteilverletzung mit Deperiostierung und Knochenexposition. In der Regel einhergehend mit massiver Kontamination
- O III C: Offene Fraktur mit arterieller Gefäßverletzung und erforderlichen Gefäßrekonstruktion

Außerdem werden die Oberarmfrakturen wie alle Frakturen von der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) eingeteilt. Dabei bezieht die Klassifizierung die anatomische Lokalisation und die Frakturtypen mit ein (79). Die anatomische Lokalisation wird mit zwei Ziffern angegeben, die erste bezeichnet den Knochen (z.B. 1 für Humerus), die zweite dessen Segment (1 proximal, 2 diaphysär, 3 distal). Die Fraktur wiederum wird in 3 Typen von A bis C unterteilt, die in jeweils drei Gruppen und je drei Untergruppen von 1 bis 3 unterteilt sind.

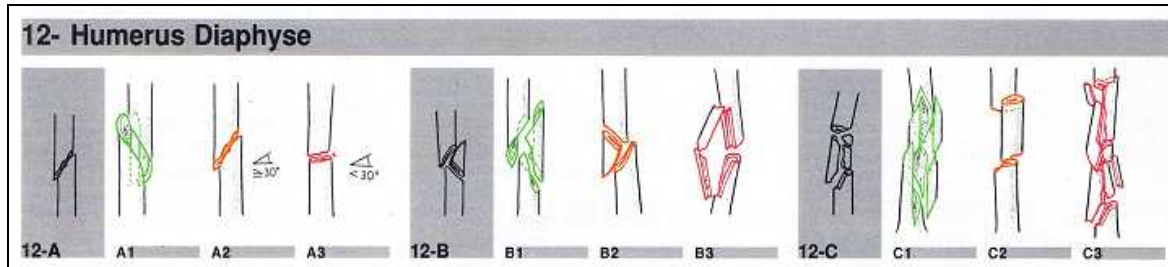


Abb. 4 AO-Klassifikation der Frakturen der Humerus Diaphyse (79)

- A1 - Spiralfaktur
- A2 - Schrägfraktur $>30^\circ$
- A3 - Querfraktur $<30^\circ$
- B1 - Drehkeilfraktur
- B2 - Biegungskeilfraktur
- B3 - Fragmentierte Keilfraktur
- C1 - Komplexe Spiralfaktur
- C2 - Doppelbruchetagenfraktur
- C3 - Komplexe polyfragmentierte Fraktur

Im diaphysären Bereich beschreibt Typ A eine einfache Fraktur, Typ B ein Keilfraktur und Typ C komplexe Frakturen. Die Gruppen und Untergruppen machen nähere

Angaben über die Schwere der Fraktur. Anhand dieser Einteilung lassen sich Aussagen über die Prognose der Fraktur machen, sie legt deren Schweregrad fest und gibt Hinweise für die Behandlungsmöglichkeiten.

Die Brucharten am Oberarm kann man der Abb. 3 entnehmen, die AO-Einteilung speziell für den diaphysären Bereich des Humerus der Abb. 4. Am Oberarm bietet sich die Einteilung in proximales, mittleres und distales Drittel bzw. die Einteilung der Humeruslänge in Sechstel an. Auch *Hackethal* legt für die Bestimmung des Indikationsgrades für eine operative Behandlung mit einer Bündelnagelung eine metrische Einteilung des Knochens in Sechstel zugrunde (36). Anhand dieser Indikationsgrade (insgesamt fünf) legt er den Wahrscheinlichkeitsgrad für eine stabile Nagelung fest (Abb. 5):

- | | |
|---|----------|
| I = mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit | (>90%) |
| II = überwiegend wahrscheinlich | (>80%) |
| III = wahrscheinlich | (>60%) |
| IV = möglich | (um 50%) |
| 0 = unwahrscheinlich | (<50%) |

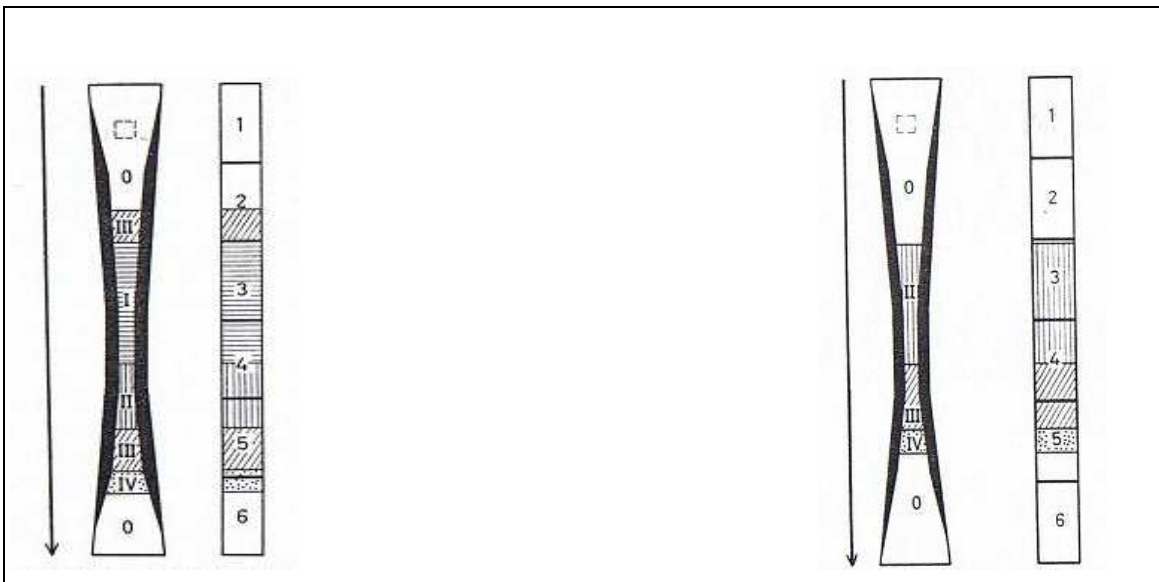


Abb. 5 Indikationsgrad der Bündelnagelung bei Einspaltbrüchen (li. Seite) und Zweispaltbrüchen (Stückbrüchen) (re. Seite) nach Lage der Bruchzone in den verschiedenen Verankerungsfeldern, bezogen auf die metrische Einteilung des Knochens in Sechstel nach Hackethal (36)

Bei Einspaltbrüchen und Nagelungsmöglichkeit auf- und absteigend ergibt sich eine Erweiterung des Indikationsgrades. Bei Ausdehnung der Bruchzone über mehrere Verankerungsfelder gilt der Indikationsgrad des für die Verankerung ungünstigsten Feldes. Bei Zweispaltbrüchen und Nagelungsmöglichkeit in nur einer Richtung besteht auch bei günstigster Lokalisation der Bruchzone nur der Indikationsgrad II.

Diese Indikationsgrade wurden 1962 anhand seiner Erfahrung mit der operativen Versorgung von Oberarmschaftfrakturen mit Bündelnagelungen von *Beck* modifiziert (8,19) (Abb. 6):

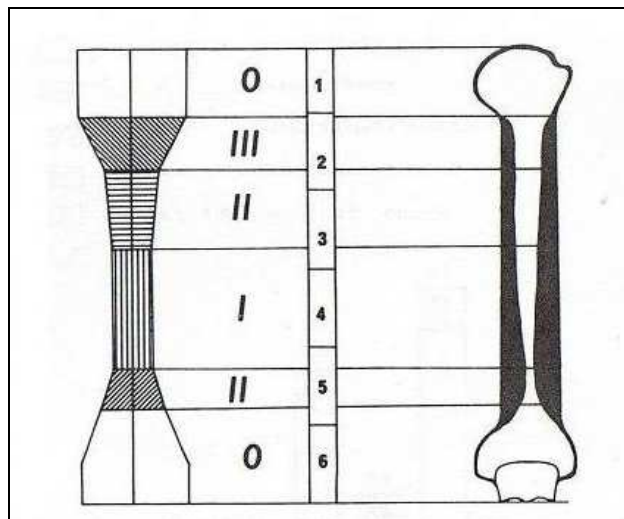


Abb. 6 Indikationsschema für die Bündelnagelung am Humerus nach Hackethal, modifiziert nach Beck (8)

Bei *Beck* sind die Indikationsgrade auf kurze Einspaltbrüche bezogen. Bei langen, mehrere Indikationsbereiche betreffenden Brüchen ist der ungünstigere, bei Trümmerbrüchen und langen Zweispaltbrüchen ist der nächstniedere Indikationsgrad anzunehmen.

1.2.4. Physiologie der Knochenheilung

Die Heilung des Knochengewebes zeichnet sich dadurch aus, dass am Ende der Heilungsprozesse die verletzten Strukturen durch normales, dem ursprünglichen Gewebe entsprechendes Regenerat ersetzt werden und nicht wie in vielen anderen Geweben durch eine minderwertige Narbe, es resultiert im Idealfall also eine Restitutio ad integrum im strengsten Sinne.

Es lassen sich zwei Formen der Knochenheilung (16,53,62,124) beobachten:

- direkte (primäre) Knochenbruchheilung
- indirekte (sekundäre) Knochenbruchheilung

Direkte Knochenbruchheilung

Bei der primären Knochenbruchheilung wird der Knochenbruch ohne Auftreten von Kallus überbrückt (16,53,61). Die Vereinigung der Frakturrenden erfolgt durch direktes Vordringen Havers'scher Systeme von einem Fragment in das andere. Voraussetzung hierfür sind ausreichende Durchblutung der Frakturrenden sowie Stabilität durch eine Osteosynthese, d.h. anatomische, fugenlose Reposition und Aufhebung jeder interfragmentären Bewegung. Unter diesen Bedingungen kommt es entweder zur Kontakt- oder zur Spaltheilung (16,62,124). Kontaktheilung kann nur eintreten, wenn die Fragmente miteinander in enger Berührung stehen. Sind feinste bis feine Spalten ($< 0,5$ mm) vorhanden, kommt es zur Spaltheilung. Hier erfolgt die Heilung nicht sofort über longitudinal ausgerichtete Osteone wie bei der Kontaktheilung, sondern erst über Auffüllen der Spalte durch in Spaltrichtung ausgerichtetes Knochengewebe und im Anschluss durch longitudinalen Durchbau über die Spalte hinweg. Das Röntgenbild weist keine sichtbare Kallusbildung auf, die Frakturheilung kann nur am Verschwinden des Frakturspaltes erkannt werden (128). Direkte Frakturheilung wird nach der Plattenosteosynthese, der reinen Verschraubung nach anatomischer Reposition und Osteosynthese mit einem dreidimensionalen Fixateur externe erwartet (1). Instabilität würde hier zur Resorption der Fragmentenden und bei ausreichender Durchblutung zur Bildung von Fixationskallus führen.

Indirekte Knochenbruchheilung

Bei der indirekten, sekundären Knochenbruchheilung erfolgt die Heilung durch Überbrückung der Fraktur mit fibrösem Bindegewebe (evtl. Faserknorpel), das durch einen Faserknochen ersetzt wird. Dieser wird dann über innere Umbauvorgänge in Lamellenknochen umgewandelt (16,53,61,62,124). Beispiele für diese Art der Knochenbruchheilung sind Frakturheilung durch äußere Ruhigstellung und Marknagelung, sie entspricht auch der natürlichen Form, die ohne spezifische Behandlung abläuft. Durch die peri- und endostale Kallusbildung ist die indirekte Frakturheilung im Röntgenbild gut nachweisbar. Bei andauernder Instabilität kann der Faserknorpel nicht abgebaut und

durch Knochen ersetzt werden, Resultat wäre die Bildung einer reaktiven Pseudarthrose.

Voraussetzung für beide Formen der Frakturheilung sind erhaltene Vitalität, eine gute Durchblutung, mechanische Ruhe, Fragmentkontakt und Infektfreiheit.

Von Heilungsstörungen ("delayed union") spricht man, wenn es 4 Monate nach der Fraktur noch zu keiner knöchernen Überbrückung gekommen ist, von einer Pseudarthrose ("nonunion"), wenn nach 8 Monaten keine Heilung zu erkennen ist (53,62,70). Die häufigsten Ursachen für eine gestörte Heilung sind Instabilität, gestörte Vitalität, Knochendefekt und Osteitis. Außerdem können lokale Infektionen und Medikamente (z.B. Kortison, Heparin, Dicumarole) zu einer Heilungsstörung führen.

Bei ausbleibender knöcherner Heilung und nachfolgender Bildung einer Pseudarthrose unterscheidet man nach *Weber* und *Cech* (127) zwei große Gruppen von Pseudarthrosen:

- biologisch reaktionsfähige Pseudarthrosen
- biologisch reaktionsunfähige bzw. avitale Pseudarthrosen

Die reaktiven (vitalen) Pseudarthrosen, d. h. solche mit guter Durchblutung der Fragmentenden, kann man wiederum in drei Gruppen unterteilen (24,62,124,127):

- hypertrophisch, kallusreich (elefantenußartig)
- hypertrophisch, kallusarm (pferdefußähnlich)
- kalluslos, ohne Hyperthrophie

Bei den inaktiven (avitalen) Pseudarthrosen mit schlechter Durchblutung unterscheidet man die (24,62,127)

- atrophe Pseudarthrose
- nekrotische Pseudarthrose und
- Defektpseudarthrose.

Darüber hinaus sollte man noch die infizierte von der infektfreien Pseudarthrose unterscheiden. In der Regel besteht bei der biologisch reaktionsfähigen Pseudarthrose keine lokale Infektion.

Ursachen für eine Pseudarthrose nach konservativer Therapie können unzureichende oder ungenügend lange Ruhigstellung (32,34,33,75,47), Distraction der Fragmente

(33,34,42,77), Weichteilinterposition im Bruchspalt (42,77) und Indikationsfehler bei der Wahl des operativen Verfahrens (32,33,34,47,70) sein. Pseudarthrosen können auch bei bestimmten ungünstigen Frakturarten auftreten, so v.a. bei Quer- und kurzen Schrägbrüchen (33,42,43,75).

Bei den postoperativ aufgetretenen Pseudarthrosen werden hauptsächlich operationstechnische Fehler (32,33,34,70), wie z.B. mangelhafte Reposition, ungenügende Fixation, Indikationsfehler mit beispielsweise falscher Implantatwahl (32,33,34,70), Frakturen mit großen Defekten und mit fehlender Spongiosaplastik (32,33,34,70), als Ursachen angegeben.

1.3. Behandlungsverfahren bei der Therapie von Oberarmschaftfrakturen

Im Folgenden soll eine Übersicht über die historische Entwicklung der Therapie zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen, unter besonderer Beachtung der Bündelnagelung nach *Hackthal*, und die aktuellen verschiedenen Möglichkeiten der konservativen und operativen Therapieverfahren gegeben werden.

1.3.1. Historische Entwicklung der Therapieverfahren bei Oberarmschaftfrakturen

Über konservative Verfahren bei der Behandlung der Oberarmschaftfraktur ist schon seit langer Zeit berichtet worden (102). So wurden bereits durch *Hippokrates* (460-377 v. Chr.) Oberarmbrüche durch Einrichtung und Anlegen von Wachsverbänden und Mitella konservativ behandelt. *Celsus* (30 v. Chr.-38 n. Chr.) stellte die Fraktur mit einer Armschlinge ruhig und *Oreibasius von Pergamon* (400 n. Chr.) aus Byzanz stellte zuerst die Fraktur mit der Harper'schen Binde ruhig, nachdem er zehn Tage lang Rückenlage einnehmen ließ, und wandte dann die Mitella an. Der maximal gebeugte Unterarm wurde von *Abulkasim* als Schiene benutzt. *Hans von Gerstorf* (um 1455-1529) benutzte eigens konstruierte Streckapparate zum Einrichten von Oberarmschaftbrüchen (99) (Abb. 7). Durch den Franzosen *Ambroise Paré* (1510-1590) wurde der Oberarmschaftbruch erstmals in Neutralstellung durch Zug am gebeugten Unterarm sowie Anlegen eines Schienenverbandes behandelt. Durch *Jean-Louis Petit* (1674-1750) wurden die Bedeutung der Kallusbildung und die gleichzeitige Mitfixierung der benachbarten Gelenke dargestellt. Der von *Pierre Desault* (1738-1795) entwickelte Verband wird noch bis in die heutige Zeit angewandt.

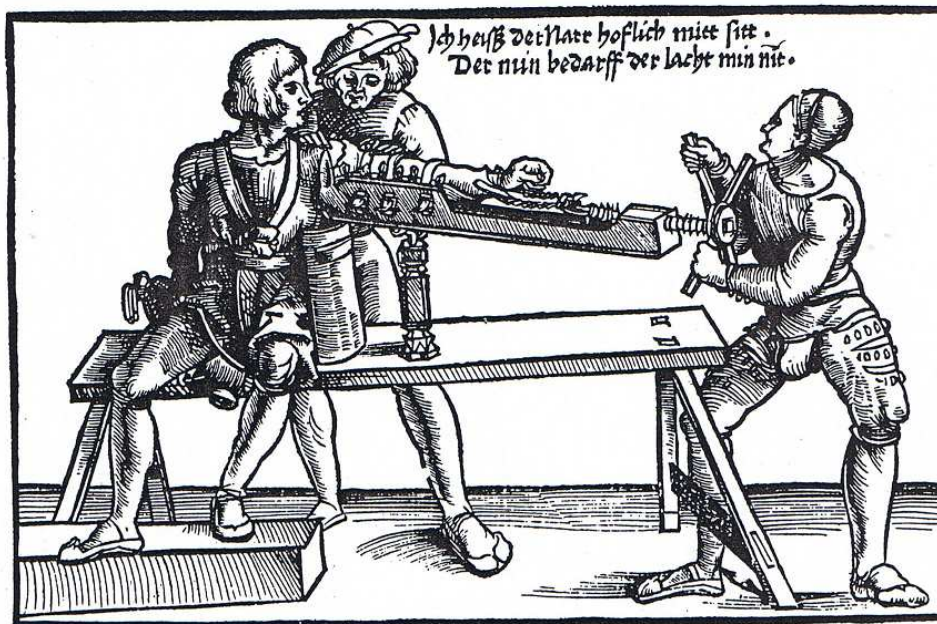


Abb. 7 Die "Armstreckung" zum Einrichten von Oberarmbrüchen (Hans von Gersdorf) (99)

Im weiteren Verlauf gelangte man über Bindengipsverbände und Extensionsbehandlungen zur Abduktionsschiene, die auch heute bei speziellen Indikationen noch angewandt wird. Mit *Lucas Championniere* (102) trat um 1880 zum ersten Mal ein Gegner der fixierenden Verbände auf. Er empfahl die Ruhigstellung in einer Mitella für kurze Zeit mit anschließender frühzeitigen Massage und Bewegungsübungen. Im deutschsprachigen Raum wurde der Grundstein der funktionellen Behandlung von *Pölchen* und *Specht* gelegt. *Pölchen* (102) beschrieb 1940 seine Selbstinnervationsmethode, die später von *Specht* (117,118) aufgenommen und modifiziert wurde. Beide Verfahren benötigen allerdings einen erfahrenen Therapeuten und eine stationäre Aufnahme. *Sarmiento* und *Latta* entwickelten in den 70er Jahren mit dem Oberarm-Brace ein System der frühfunktionellen Nachbehandlung bei konservativer Therapie (100).

Die operative Knochenbruchbehandlung hat ihre Anfänge im 17. Jahrhundert. Der italienische Arzt *Marcus Aurelius Severinus* (1580-1656) (102) soll damals erstmals eine Patellafraktur genäht haben. Weitere Versuche scheiterten in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts an einer Wundinfektion. Der Durchbruch im Kampf gegen die Sepsis gelang erst mit dem von *Lister* (1827-1912) (102) eingeführten „Karbolsprayverfahren“. Ein weiterer Durchbruch gelang mit der Einführung der Röntgenstrahlen 1895 durch

Wilhelm Konrad Röntgen (1845-1923), wodurch erstmals die Frakturen auch dargestellt werden konnten. *Albin Lambotte* aus Belgien versuchte 1907 als Erster Schrauben und Platten am Knochen zu verankern (102), 1930 wurde von *Danis* (102) eine Arbeit über seine Erfolge mit der Druckplatte/Zugschraube veröffentlicht, die eine der Grundlagen für die im Jahre 1958 in der Schweiz gegründete AO bildete. Die innere Schienung des Knochens bzw. die Marknagelung geht auf *Nicolaysen* (1897) zurück, er führte diese mit starrem Material durch. Später berichteten in Einzelfällen *Delbet* (1906), *Lambotte* (1907), *Hey Groves* (1916) und *Rush* (1937) über die Markraumschienung. Die Markraumschienung als Routinebehandlung wurde allerdings erst 1940 von *Gerhard Küntscher* mit dem Küntscher-Nagel eingeleitet (102). Die Markdrahtung geht zurück auf *Lambotte* (1907) und wurde von weiteren Operateuren beschrieben: *Ispen* 1933 in Dänemark, *Murray* 1945 in Kanada, *Bürkle De La Camp* 1947 und *Landelius* 1951 in Schweden (102). Im Gegensatz zur Markdrahtung konnten die Anwender der stabilen Marknagelung durch innere stabile Schienung auf eine zusätzliche äußere Fixation verzichten. Bei der Markdrahtung sollte lediglich durch einen oder mehrere in Längsrichtung in den Knochen geschobene Drähte das Abrutschen der Bruchstücke verhindert werden. 1955 entwickelte *Rush* den nach ihm benannten Rush-Pin, einen modifizierten Steinmann-Nagel, der in der Markhöhle verklemmt wird. Die Bündelnagelung nach *Hackethal* (36) 1961 stellte einen Kompromiss zwischen der unstabilen Markdrahtung und der stabilen Marknagelung dar.

Aber auch heute werden immer neue Systeme der Markraumschienung entwickelt, die versuchen, die Probleme der ersten Implantate zu verringern: 1989 die *Prévo*t-Nagelung (109), der *Seidel*-Nagel 1991 (114), die *Endo-Helix* nach *Labitzke* 1993 (66), der *Russel-Taylor*-Nagel 1995 (96), der unaufgebohrte Humerusverriegelungsnagel (*UHN*) 1998 (12), der *Behac*-Nagel 1998 (2) und der *Flexnail* von *Synthes* 2002 (67,80).

1.3.2. Geschichte der Bündelnagelung

Hackethal berichtete zum ersten Mal 1961 über die von ihm entwickelte Methode der Bündelnagelung zur intramedullären Frakturschienung (36) von langen Röhrenknochen. Sein Ziel war es, eine stabile Osteosynthese durch gelenkfern eingebrachte, den Markraum auffüllende Stahlnägel zu erzielen. Mit seiner Methode wollte *Hackethal* eine Kombination des "*Rush*-Prinzips der Benutzung elastischer Nägel mit der Forderung *Küntscher's* nach Querschnittfüllung einer in sich stabilen Schiene" (36,60) erreichen. Im Frühsommer 1959 wurde die erste Nagelung an einem sekundär

dislozierten Spiralbruch in Höhe des 4./5. Sechstels des Schienbeines durchgeführt. Nach manueller Reposition unter Extension wurden insgesamt neun 2 mm starke, etwas abgestumpfte Kirschnerdrähte eingeschlagen und deren Enden anschließend abgeschnitten. Nach Ende der Operation war die Fraktur laut *Hackethal* (36) so stabil, dass auf weitere zusätzlich ruhigstellende Gipsverbände verzichtet werden konnte. Basierend auf den anschließenden Untersuchungen wurde dann der eigentliche Bündelnagel entwickelt: ein 3 mm starker, ca. 50 cm langer massiver Stift aus Stahl mit halbkugelförmigen Nagelenden und guter Seitenelastizität (36). Die halbkugelartige Spitze soll eine gute "Umlenkbarkeit und Gleitfähigkeit" gewährleisten, die relativ hohe Seitenelastizität das Verankern in der Spongiosa erleichtern. Die Stärke von 3 mm soll ein optimales Verhältnis zwischen Totraum, Nagelzahl und Eigenstabilität des Nagels erzielen. Da die geschlossene Reposition der langen Röhrenknochen schon immer Schwierigkeiten bereitete und eine häufige Ursache für eine "offene Nagelung" war, entwickelte *Hackethal* eine eigene Repositionsvorrichtung, den sogenannten Viermastkran (36) (Abb. 8).

Repositionsgerät des Verfassers, Typ Viermastkran, auf Vertikalsäule des Maquet-Tisches montiert (Hersteller: Maquet, Rastatt). Von einem U-Stück gehen horizontal 4 Längsmasten ab, die Umlenkzapfen tragen und frei enden. An den Vertikalstangen des U-Stückes sitzen außen die Seilwinden. Die Querszuggürtel sind an den Diagonalmastseilen aufgehängt. Die Seile für den proximalen Gürtel sind blau, für den distalen weiß. Auf die Zapfen der Längsmasten, von denen sie umgelenkt werden, sind kleine Umlenkrollen aufgesteckt. Die Seilwinden werden mittels umsteckbarer Kurbeln betätigt

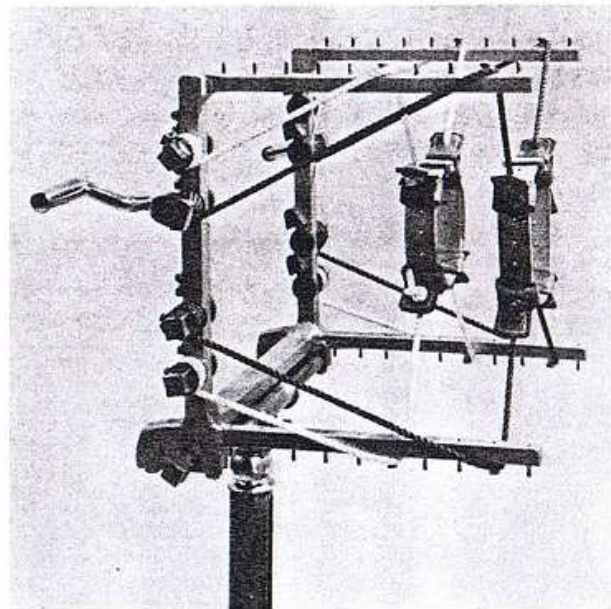


Abb. 8 Viermastkran nach *Hackethal* (36)

Dieser sollte eine geschlossene vollapparative Reposition und anschließende Retention für die Dauer der Operation ermöglichen. Die Repositionsvorrichtung verminderte sowohl die Strahlenbelastung des Operateurs als auch den Kraftaufwand bei der Reposition. Von den ersten hundert Bündelnagelungen, über die er in seiner Veröffentlichung 1961 (36) berichtete, waren 54 Unterschenkel-, 22 Oberschenkel-, 17 Oberarm- und 7 Unterarmnagelungen. Heute wird die Methode der Bündelnagelung noch für die Schaftfrakturen der oberen Extremität (5,7,9,18,41) verwendet, im Bereich der unteren Extremität hat man diese Methode aufgrund der hohen Komplikationsrate und mangelnder Stabilität zugunsten der Verriegelungsmarknagelung verlassen. Die Prinzipien der Fensterschnürung, Taillenschnürung, Spongiosanagelung und Verkeilungsnagelung (siehe auch 1.3.5.b) sollten erfüllt sein, nicht zu verwechseln mit dem TEN-Prinzip (titan elastic nail) oder der Endernagelung, wo durch die eingebrachten Nägel nur eine Schienung der Fraktur erfolgt (siehe auch 1.3.5.i,j).

1.3.3. Behandlungsziele bei der Versorgung von Oberarmschaftfrakturen

- Frühfunktionelle Nachbehandlung mit voller Wiederherstellung der Gebrauchsfähigkeit der Schulter und des Armes und verkürzten Rehabilitationszeiten
- Schnelle und dauerhafte Schmerzfreiheit
- Verzicht auf aufwendige Zusatzinstrumentarien
- Risikoarmes Vorgehen
- Vermeidung von Folgeverletzungen wie Nerven- oder Gefäßschäden
- Gute pflegerische Möglichkeiten bei polytraumatisierten Patienten
- Möglichkeit der Rekonstruktion mitverletzter anderer anatomischer Strukturen

1.3.4. Aktuelle konservative Therapie zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen

Trotz vieler Diskussion, ob und wann die Humerusschaftfraktur primär konservativ oder operativ versorgt werden soll, gilt auch heute noch:

Die Oberarmschaftfraktur kann vielfach konservativ behandelt werden (4,15,19,26,28,29,41,65,70,74,75,76,83,84,88,91,92,94,95,98,104,107,108,112,113,116,120).

Diese Aussage wird durch gute Behandlungsergebnisse gerechtfertigt. Gründe dafür sind:

- Die einfachen Bruchformen überwiegen, Frakturen mit schweren Weichteilverletzungen sind selten. Dadurch sind die Frakturen meistens einfach zu reponieren (29,50,51,72,76,93,94,113,120).
- Der Oberarmschaft ist allseits von einem gut durchbluteten Weichteilmantel umgeben; dies gewährleistet sowohl eine gute Durchblutung als auch ein Schienung der Fraktur (29,50,51,72,76,93,94,112,120).
- Die unmittelbare Nähe des Nervus radialis im mittleren und distalen Drittel des Oberarmschaftes erhöht die Gefahr einer Schädigung bei Operation mit oder ohne offener Reposition (72,76,92,94).
- Komplikationen wie Pseudarthrosen (0% bis max. 5,3%) (41,44,46,76,82), Infekte (ca. 0%) und verzögerte Bruchheilung sind seltener bei konservativer als bei operativer Therapie (29,50,76,94), die Rate der Radialisschädigungen steigt von 0% bei konservativer auf bis zu 12,8% bei operativer Therapie an (29,93,113).
- Die konservative Therapie ist einfach und häufig ambulant durchführbar (15,29,50,51,76,94,120).
- Durch die fehlende statische Belastung ist trotz leichter Fehlstellungen nach erfolgtem Frakturdurchbau die Funktion in der Regel gut und nachteilige Auswirkungen auf die benachbarten Gelenke sind gering, es können Verschiebungen bis zu Schaftbreite, Achsabweichungen bis zu 20° sowie Rotationsfehler bis zu 10 ° toleriert werden (29,40,50,51,72,76,83,92,93,94,112,120).

Nachfolgend eine Aufstellung (Abb. 9) der konservativen Verfahren zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen, wobei der Sarmiento-Brace durch die einfache Anwendbarkeit und den hohen Patientenkomfort dabei ist, die anderen Verfahren zu verdrängen (21,52,83,93,94,119).

1) Der Hängegips (Hanging Cast)

Hierbei handelt es sich um einen schweren zirkulär angelegten Gipsverband, der distal der Fraktur beginnt, das Ellenbogengelenk fixiert und am Handgelenk endet. Das Gewicht des Gipses bewirkt eine Extension im Frakturbereich. Die Frakturstellung muss in den ersten Tagen regelmäßig radiologisch überprüft werden. Bei fortbestehender akzeptabler Frakturstellung kann ca. am 4. Tag mit einer Übungsbehandlung begonnen werden. Nach ca. 6-7 Wochen kann der Gips bei ausreichender

Kallusbildung entfernt und eine aktive Übungsbehandlung angeschlossen werden (48). Beim Hängegips, wie bei allen extendierenden Verfahren, erhöht sich die Gefahr der Pseudarthrosenentstehung (14,27,42,43,50,90,91,94,113). Außerdem setzt diese Behandlung einen mobilen Patienten, der sitzen und stehen kann, voraus.

2) Der Desault-Verband

Nach Reposition und leichter Einstauchung der Fraktur wird der Arm mit einem Verband in Adduktionsstellung und Beugung des Armes im Ellenbogengelenk von ca. 90 Grad am Thorax fixiert. Die Hand bleibt frei beweglich, das Schulter- und Ellenbogengelenk sind ruhiggestellt. Die Fraktur wird in diesem Verband für ca. 2-3 Wochen ruhiggestellt, anschließend erfolgt die weitere Behandlung mittels der U-Schiene nach *Böhler* für weitere 4-5 Wochen oder dem Sarmiento-Brace. Vor dem Wechsel zur U-Schiene sind noch Achsabknickungen korrigierbar, da nach 2-3 Wochen der Kallus noch verformbar ist (104,76,92,120). Fraglich ist allerdings, inwieweit vor allem beim alten Menschen eine Ruhigstellung von 2 Wochen bereits zu einer Bewegungseinschränkung führt, was von den Autoren unterschiedlich bewertet wird. Die Körperpflege ist zumindest sehr erschwert (26,50,92,94).

3) Der Sarmiento-Brace

Das Prinzip dieser Behandlung besteht zunächst in einer Ruhigstellung der Fraktur für ca. 14 Tage in einem Desaultverband oder einem herkömmlichen Gipsverband. Nach Abklingen der Schmerzen und der Schwellung wird anschließend eine Oberarmmanschette für weitere 6-8 Wochen angelegt und mit der aktiven Übungsbehandlung begonnen. Für die ersten 1-2 Wochen sollte der Brace mit einer Cuff-and-collar-Schlinge kombiniert werden. *Sarmiento* und *Latta* konnten nachweisen, dass es sich im Bereich langer Röhrenknochen von einem Gelenk zum anderen um geschlossene hydraulische Kompartments handelt, die bei zirkulärer Kompression nur im Bereich des Kompartments zur Frakturstabilisierung führen. Dieses sollte durch das Anlegen des Kunststoff-Braces erreicht werden (37,50,68,100,125). Bei dieser Behandlungsmethode sollten die Patienten weder bettlägerig noch sehr korpulent oder kachektisch sein.

4) Die U-Schiene nach *Böhler*

Nach Reposition in Bruchspaltanästhesie wird die Fraktur eingestaucht. Diese Stauchung soll das Entstehen einer Pseudarthrose vermeiden und ist weder funktionell noch kosmetisch von Bedeutung (55,82,83,943). Nach der Reposition wird der Unterarm an den Thorax herangezogen und es wird eine U-förmige Gipsschiene von der Schulter über die Oberarmvorderseite auf die Rückseite modelliert. Der Unterarm ist in einer Handgelenks-Halsschlinge fixiert. Nach Abtrocknen des Gipses wird der Arm mit elastischen Binden an den Thorax gewickelt. Dieser Verband verbleibt 6 Wochen. Nach Abnahme des elastischen Fixierungsverbandes werden die U-Schiene und die Handgelenksschlinge noch ca. 3 Wochen belassen, während dieser Zeit beginnt die aktive Übungsbehandlung des Schultergelenkes (55,76,88,92).

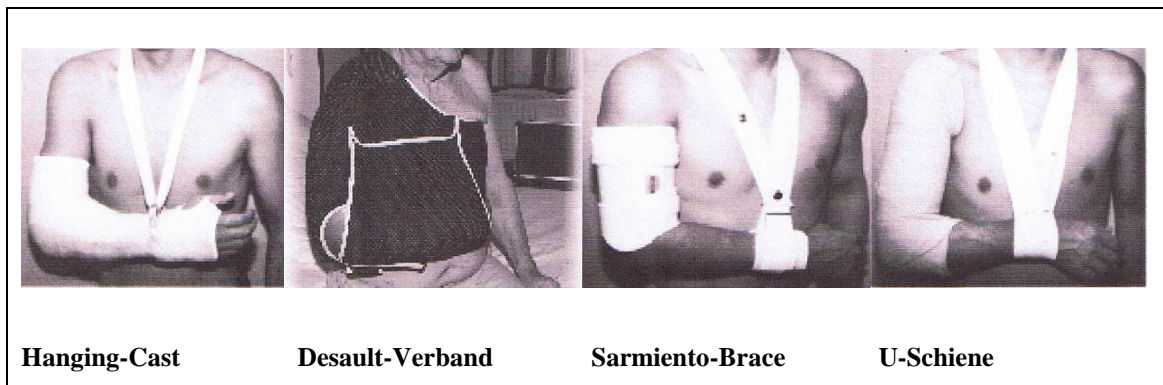


Abb. 9 Konservative Verfahren zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen (17)

1.3.5. Aktuelle operative Therapie zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen

Die operative Therapie sollte möglichst so gewählt werden, dass eine frühfunktionelle Nachbehandlung ohne zusätzliche äußere Fixierung möglich ist. Jedoch sollte die Indikation zur Osteosynthese eng gestellt werden, da je nach Wahl des Osteosyntheseverfahrens die Risiken einer Infektion, Radialisparese und Pseudarthrose bei einigen Frakturformen deutlich höher als bei einer konservativen Therapie sind. Außerdem hat eine postoperativ entstandene Radialisparese eine deutlich schlechtere Prognose als eine

primär traumatisch verursachte Parese, die sich in mehr als 80% der Fälle spontan zurückbildet.

Bei der Entscheidungsfindung – konservatives oder operatives Vorgehen – unterscheidet man zwischen

- absoluten Operationsindikationen, bei denen das operative Vorgehen nach dem heutigen Wissensstand notwendig ist
- relativen Operationsindikationen, bei denen man die Operation nach heutiger Auffassung empfehlen kann, da sie die Wiederherstellung der frakturierten Extremität beschleunigen oder begünstigen kann.

Absolute OP-Indikationen sind:

- Humerusschaftfrakturen mit zunehmender Radialisparese
(16,22,29,52,56,64,69,76,82,83,84,92,106,112,113,120)
- Humerusschaftfrakturen mit Gefäßverletzung
(12,21,29,51,52,56,64,69,76,82,83,84,91,92,94,96,106,109,113,120)
- II-III° offene Frakturen
(3,12,21,29,51,56,64,69,82,83,84,92,95,96,106,109,112,113,116)
- Pseudarthrosen
(3,12,29,51,52,56,64,69,76,82,83,84,94,95,96,106,109,113,116)
- Pathologische Frakturen
(12,21,41,52,82,84,92,113,116)
- Irreponible Frakturen mit Weichteilinterponat
(64,91,92,94,106,109,116,120)

Relative OP-Indikationen sind:

- beidseitige Humerusschaftfraktur
(12,21,56,76,84,92,96,106)
- Serienfraktur der oberen Extremität (sog. „floating Elbow“)
(12,21,29,52,56,76,84,91,92,96,106,109)
- Patienten mit Polytrauma
(41,51,52,56,76,82,84,91,92,94,106,109,112,113)
- Quer- oder kurze Schrägfrakturen
(12,21,29,41,51,76,82,83,91,96,106)
- Wunsch des Patienten, berufliche Situation

- (52,23,24,56,62,45,202)
- Gelenknahe Frakturen mit oder ohne Gelenkbeteiligung
(3,21,94)
- Adipöse Patienten
(21,41,51,56,82,83,96,109)
- Alte, alleinstehende Patienten
(21,82,83,84,94,96,109)

Bei primärer Radialisparese besteht in der Literatur hinsichtlich einer absoluten Operationsindikation keine Einigkeit, zum Teil wird sie als absolute OP-Indikation gesehen (21,22,46,51,64,82,83,94,95,112,113,116,120), zum Teil wird aufgrund der hohen Spontanremission nur eine Operation bei zunehmender Parese oder bei fortbestehender Nervenläsion empfohlen (15,21,28,29,38,40,56,65,76,84,109).

Die einzelnen Verfahren lassen sich zunächst in drei Gruppen einteilen:

- Plattenosteosynthese
- Fixateur externe
- Intramedulläre Verfahren.

Bei der **Plattenosteosynthese** wird heute vor allem die breite DCP-Platte (dynamic compression plate) bzw. die LCDCP-Platte (low contact dynamic compression plate) oder bei proximalen Humerusfrakturen als winkelstabile Variante die LCP-Platte (locking compression plate) verwendet. Die Vorteile der Plattenosteosynthese sind die exakte Reposition, die frühfunktionelle Nachbehandlung und die Möglichkeit der Überbrückung langstreckiger Defekte (52,116). Durch die offene Reposition besteht gleichzeitig die Möglichkeit der Nervenrevision und der Spongiosaplastik. Die Nachteile sind die hohe Gefahr der postoperativen Radialisparese, die Schädigung der Fragmentvitalität, der Ausriss von Schrauben im osteoporotischen Knochen und die mitunter störenden Operationsnarben. Indikation zur Plattenosteosynthese besteht vor allem bei Pseudarthrosen (52,76,109), Defektüberbrückungen (52), pathologischen Frakturen (52) und bei Frakturen mit Radialisparese zur gleichzeitigen Darstellung des Nerven (51,76). Es werden Titanimplantate empfohlen, um das hohe Risiko einer Radialisläsion bei der Materialentfernung zu vermeiden, da hier das Osteosynthesematerial belassen werden kann.

Die hauptsächlichen Indikationen für einen **Fixateur externe** bestehen bei höhergradigen offenen Frakturen, Polytraumata und septischen Pseudarthrosen (12,52,96,129). Insgesamt gesehen kommt der Fixateur am Oberarm nur sehr selten zum Einsatz, da er von vielen Patienten als störend empfunden wird und ein Großteil der offenen Frakturen auch mit einer Marknagelung oder Plattenosteosynthese versorgt werden kann.

Bei den **intramedullären Techniken** unterscheidet man zwischen solchen mit dünnen Implantaten (Markdrahtung) und solchen, die die Markhöhle mehr oder weniger ausfüllen. Die Vorteile dieser Techniken sind der schonende, kleine, frakturferne Operationszugang, die Möglichkeit der geschlossenen Reposition bei gleichzeitiger funktioneller Nachbehandlung und die geringe Gefahr der Radialisschädigung (109). Pathologische Frakturen können schnell und mit guter postoperativer Funktion stabilisiert werden. Problematisch bei allen intramedullären Osteosynthesen ist die besondere asymmetrische Form der Humerus-Markhöhle mit der distalen Einengung und dem exzentrischen Isthmus.

Es werden heute eine Vielzahl von intramedullären Implantaten angeboten (Abb. 10). Bei einigen Modellen (b,e,g,j,m) ist sowohl eine absteigende durch die Rotatorenmanschette oder das Collum chirurgicum als auch eine aufsteigende Nagelung von proximal der Fossa olecrani möglich. Die Implantate lassen sich noch in rigide und flexible Nägel unterscheiden. Nachfolgend eine Auflistung der gängigen Implantate:

- a) Rush-Pin: Einbringen eines flexiblen Pins vom Humeruskopf aus, der die Fragmente an drei Stellen gegeneinander verklemmt (52). Zusätzlich ist aufgrund der geringen Stabilität eine Ruhigstellung durch eine Verbandstechnik nötig.
- b) Bündelnagelung nach *Hackethal* (36): Erzielen einer Übungsstabilität durch Auffüllung des gesamten Markraumes mit Bündelnägeln nach dem Prinzip der elastischen Verklemmung. Dies wird unter Berücksichtigung folgender 4 Punkte (6,20,73) erreicht:
 - die *Fensterschnürung*: Verklemmen der Nägel am Einschlagfenster
 - die *Tailenschnürung*: Verklemmen der Nägel in der Diaphysentaille
 - die *Spongiosanagelung*: Aufspreizen der Nägel im metaphysären Bereich

- die *Verkeilungsnagelung*: Auffüllen des knochenfensternahen Markraumtrichters mit Kurznägeln.
- c) Endohelix nach *Labitzke*: Über einen Kirschner-Draht wird ohne Aufbohren der Markhöhle ein spiralförmiges Implantat eingedreht, das Wechselbelastung der Fraktur von Druck und Zug zur Förderung der Frakturheilung zulässt (52,66).
- d) Seidel-Nagel: Nach Aufbohren der Markhöhle wird ein rigider Nagel absteigend vom Tuberculum majus implantiert und distal durch einen Spreizmechanismus (Spreizlamellen werden über einen Konus gegen den Knochen gedrückt) in der Markhöhle verklemmt. Anschließend erfolgt die proximale Verriegelung durch Bolzen (12,51,109,114).
- e) UHN (unaufgebohrter Humerusverriegelungsnagel) und auch Folgeimplantate wie z.B. der Targon H-Nagel, T2-Humerus-Nagel: Retrograd oder antegrad eingebrachter anatomisch gekrümmter Nagel ohne Aufbohren der Markhöhle mit proximaler und distaler Möglichkeit der Mehrfachverriegelung (12).
- f) Russel-Taylor-Nagel: Ein Massivnagel mit drei unterschiedlichen Durchmessern (7,8,9 mm) mit Verriegelungsmöglichkeiten jeweils an den Enden (52,96), wobei distal nur eine dynamische Verriegelung möglich ist (51).
- g) Monachia-Nagel: Ein ca. 6mm im Durchmesser betragendes Rohr, das vorzugsweise aufsteigend implantiert wird und proximal mittels Ausklinkdrähten und distal mit Schrauben, die in eine quere Platte unter Sicht eingeführt werden, verriegelt wird. Eine absteigende Nagelung ist prinzipiell auch möglich (52).
- h) Marchetti-Vicenzi-Nagel: Einbringen eines elastisches Implantates mit 4 oder 5 zunächst aneinander fixierten Pins, die nach dem Passieren der Fraktur voneinander gelöst werden und so eine divergierende Verankerung in der Spongiosa des Humeruskopfes ermöglichen. Anschließend erfolgt die distale Verriegelung (109).
- i) Prévot-Pins: Prinzip der elastischen endomedullären Schienung durch Einbringen von zwei gekreuzten und sich elastisch verspannenden Titannägeln in den Knochenschaft von metaphysär her, v.a. für diaphysäre Frakturen der langen Röhrenknochen bei Kindern geeignet, da bei der Operation die Epiphysenfuge nicht tangiert wird (86,109). Im Gegensatz zu den Bündelnägeln wird hier der Markraum nicht aufgefüllt und es werden maximal 2 Nägel in die Markhöhle eingebracht. Sie dienen zur Schienung bei schwer zu reponierenden und zu haltenden Frakturen. Es erfolgt weder ein Verklemmen der Nägel in der Diaphysentaille noch ein Aufspreizen der Nägel im metaphysären Bereich des Humeruskopfes.

- j) Ender-Nägel: Einbringen von mehreren flexiblen vorgebogenen Nägeln, sowohl von proximal als auch von distal möglich, die am Ende mit einer Öse versehen sind. Diese Methode wird v.a. bei peritrochantären Frakturen des Femurs verwandt und kam eher sporadisch bei Oberarmchaftfrakturen zur Anwendung (38,52).
- k) Küntscher-Nagel: Prinzip der Rohr-in-Rohr-Schienung durch elastische Verklemmung des Nagels (geschlitzte Spannhülse) nach Aufbohren der Markhöhle
- l) Behac-Nagel: elastisches, intramedulläres Implantat mit proximalem Schleifen-
design, das die Druckreduktion an der Verankerungsstelle im Humeruskopf und
gleichzeitig die bessere Blockierung des Kopffragmentes erreichen soll, von
retrograd eingeführt, v.a. bei Kombinationsfrakturen mit einer proximalen Humerus-
fraktur (2,56).
- m) Flexnail: flexibler Nagel mit Gliederkettenkonstruktion, nach Implantation durch
Verspannen des Nagelkerns Aufheben der Flexibilität, bei retrograder Implantation
zusätzliche Stabilisierung im Bereich des Humeruskopfes durch Ausklinkdrähte am
distalen Nagelende möglich, auch antegrade Implantation möglich (56,80).

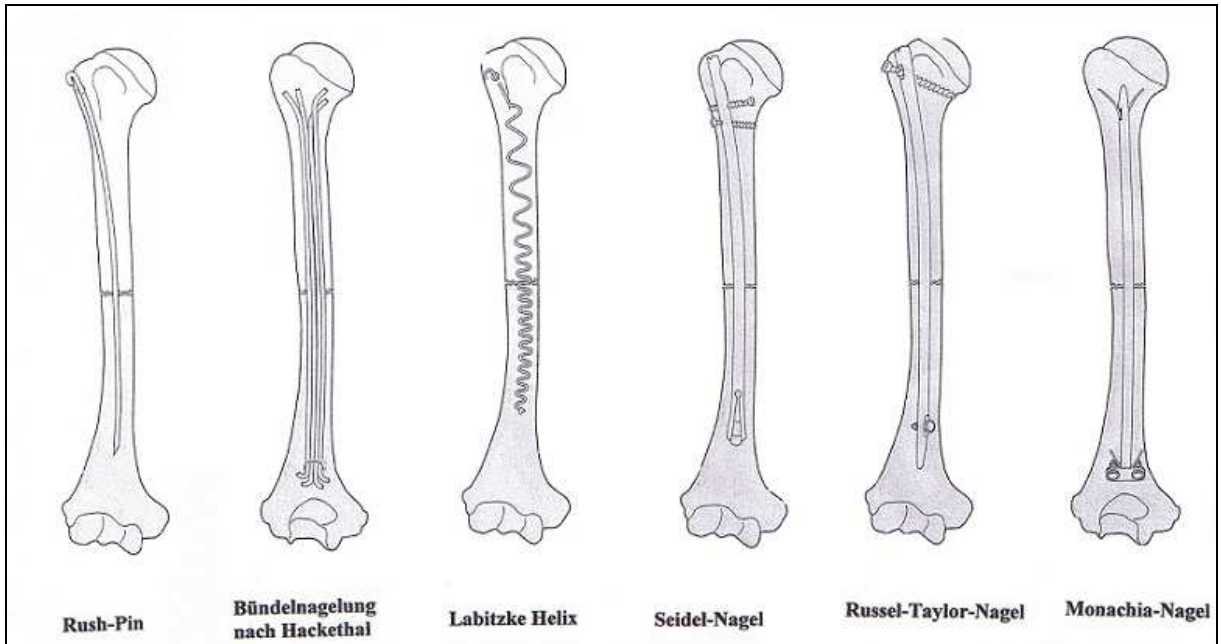


Abb. 10 Verschiedene intramedulläre Nagelarten zur Versorgung von Oberarmchaftfrakturen (52)

Die Technik der Marknagelung wird stetig weiterentwickelt. Die Tendenz geht zur unaufgebohrten Implantation und flexiblen Fixation (52), um die Zerstörung der Markraumgefäße zu verhindern. Vorzugsweise sollte ein extraartikulärer aufsteigender Zugang gewählt werden, um eine Beeinträchtigung der Rotatorenmanschette, des Knorpels am Humeruskopf, des N. axillaris und N. radialis zu verhindern (1213,96,109). Die Möglichkeit der Verriegelung soll eine Rotationsstabilität gewährleisten. Die neuesten Implantate sind der Seidel-Nagel, der Russel-Taylor Nagel und der UHN (sowie seine Folge-Implantate, der T2-Humerus-Nagel und der Targon-H-Nagel), mit denen bereits gute Ergebnisse erzielt werden konnten (12,51,96,109, 114). Aktuellste Weiterentwicklungen sind der Behac-Nagel und der Flexnail von Synthes, die v.a. bei bis in den Humeruskopf reichenden Oberarmfrakturen eine Stabilisierung ermöglichen. Nicht mehr zur Anwendung kommen sollten Rush-Pins, Ender- und Küntscher-Nägel. Prévot-Pins werden vorzugsweise bei Kindern angewendet.

1.3.6. Operative Zugänge zum Oberarmschaft

Je nach Frakturart und Wahl des Osteosyntheseverfahrens gibt es verschiedene operative Zugänge am Oberarm.

A) Proximaler Oberarm

- Zugang durch das Tuberculum majus unter Längsspalten des Deltamuskels (Deltasplit), Inzision der Rotatorenmanschette medial vom Tuberculum majus am Collum chirurgicum (103,114). Dieser Zugang wird vor allem für die Verriegelungsnagelung und absteigende Bündelnagelung verwendet. Besonders zu achten ist auf die nervale Versorgung des M. deltoideus.

- Zugang im Sulcus deltoideus zwischen Deltamuskel und M. pectoralis (3,44,59,103). Dieser Zugang kann sowohl für die absteigende Bündelnagelung wie auch für die T-Plattenosteosynthese am Oberarmkopf verwendet werden. Hier muss man vor allem auf den N. axillaris und die Hauptnerven und Gefäße an der Innenseite des Oberarms achten.

B) Oberarmmitte

Den Oberarmschaft kann man von zwei Seiten erreichen:

- Für Operationen am mittleren bis distalen Schaftdrittel über den **dorsalen** Zugang (Abb. 11) erfolgt die Hautinzision in Oberarmmitte bis oberhalb der Olekranonspitze mit anschließender Spaltung des M. triceps brachii (3,25,58,59,76,82,83,103,116).

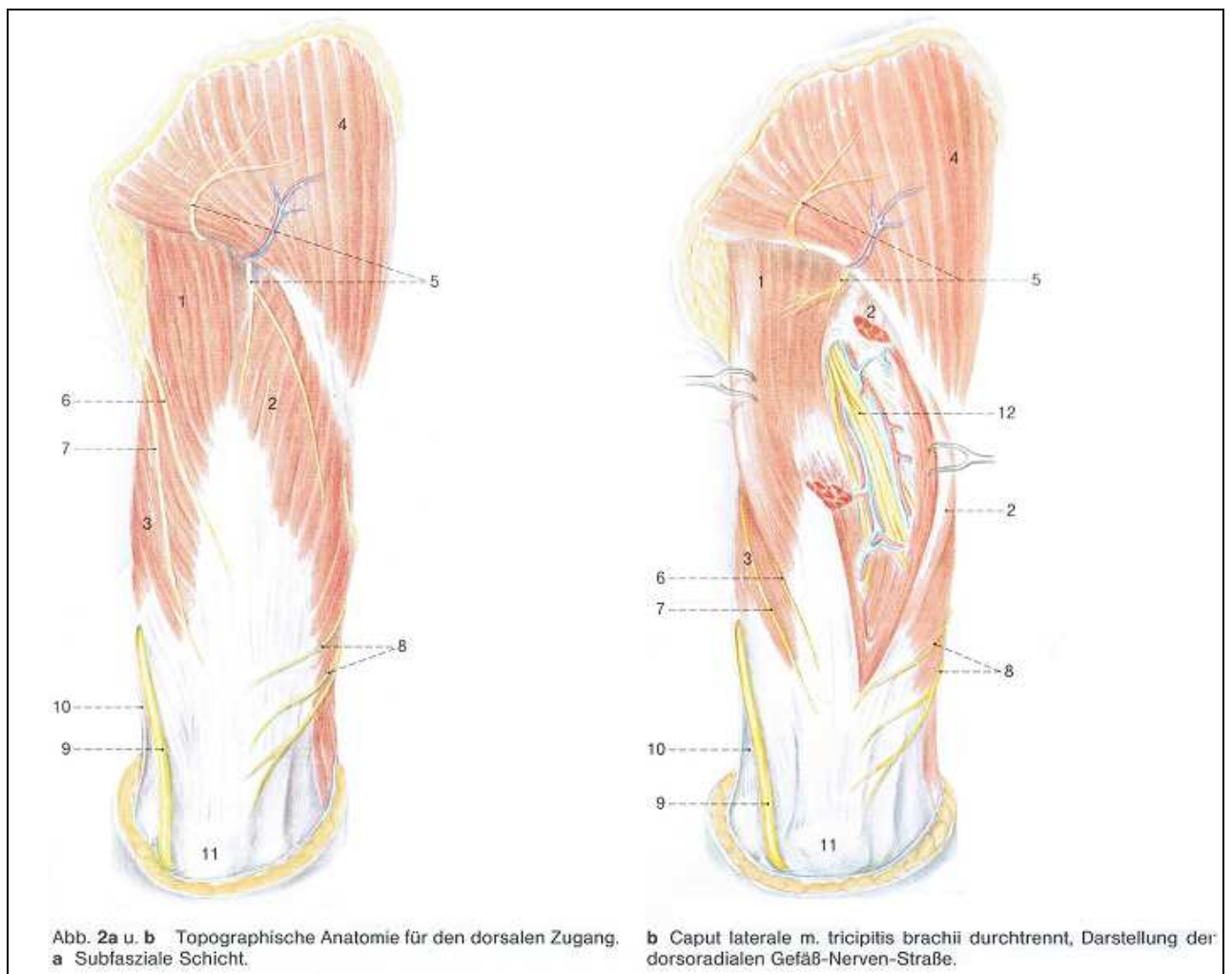


Abb. 11 Dorsaler Operationszugang zum Humerusschaft : 1 Caput longum m. tricipitis brachii, 2 Caput laterale m. tricipitis brachii, 3 Caput mediale m. tricipitis brachii, 4 M. deltoideus, 5 N. cutaneus brachii lateralis superior, 6 N. cutaneus brachii lateralis interior, 7 N. cutaneus brachii posterior, 8 N. cutaneus brachii medialis, 9 N. ulnaris, 10 Septum intermusculare mediale, 11 Olekranon, 12 N. radialis, Vasa profunda brachii (58)

In Schaftmitte sollte man besonderes Augenmerk auf das Gefäß-Nerven-Bündel mit N. radialis und A. profunda brachii richten. Dieser Zugang gilt als der Standardzugang für Oberarmschaftfrakturen für die Plattenosteosynthese (28,44,82,83,111) und wird vor allem wegen der besseren Darstellung des Gefäß-Nervenbündels bevorzugt. Im Gegensatz zum anterolateralen Zugang, der in Rückenlage durchgeführt wird, wird hier in Bauchlage mit frei hängendem Unterarm und Ellenbogengelenk operiert.

- Für das proximale bis mittlere Schaftdrittel eignet sich besser der **anterolaterale** Zugang (3,25,58,59,82,83,103). Die Hautinzision verläuft im Sulcus deltoideopectoralis auf einer Linie zwischen der Klavikula und dem Epicondylus humeri radialis. Danach wird der M. brachialis in der Länge gespalten. Der N. radialis wird dabei distal-lateral dargestellt (44,111).

C) Distaler Oberarm

Der **dorsale** Zugang (3,59) für das mittlere und distale Drittel erfolgt am distalen Oberarm mit einer Hautinzision ca. 10 cm oberhalb des Olekranons in Längsrichtung auf die Olekranonspitze ziehend und anschließender Längsspaltung der Tricepssehne und -muskulatur. Dieser Zugang wird für die retrograde Nagelung mit dem UHN und für die retrograde Bündelnagelung benutzt.

2. Material und Methode

Es handelt sich hierbei um eine retrospektive Untersuchung. Erfasst wurden alle Patienten mit Oberarmchaftfrakturen, die von Januar 1990 bis Oktober 2000 in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses Frankfurt mittels einer Bündelnagelung operativ versorgt worden sind. Die Nachuntersuchung wurde frühestens ein Jahr nach der Primäroperation durchgeführt, dabei war die bereits erfolgte Materialentfernung keine Voraussetzung.

2.1. Eigenes Vorgehen bei der Versorgung von Oberarmchaftfrakturen

Im folgenden Abschnitt werden das präoperative Vorgehen (Diagnostik und Akuttherapie), die eigene Operationstechnik und die postoperative Nachbehandlung näher erläutert.

2.1.1. Präoperatives Vorgehen (Diagnostik und Akuttherapie)

Der Großteil der Patienten suchte unsere Klinik aus eigenem Antrieb, meistens direkt nach dem Trauma, auf oder wurde mit den Rettungsdiensten eingeliefert. Ein weiterer Teil wurde uns von den niedergelassenen Kollegen, auch kurze Zeit nach dem Trauma, zugewiesen.

Alle eintreffenden Patienten wurden zunächst in unserer chirurgischen Ambulanz aufgenommen. Dort erfolgte auch die erste Diagnostik, die sich in Anamnese, klinischen Befund und radiologische Untersuchung aufteilte.

Die Anamnese diente zur Ermittlung des Unfallhergangs, der Beschwerden des Patienten sowie eventueller Begleitverletzungen. Außerdem konnten hier Informationen über bereits stattgehabte Verletzungen dieser Art, vorbestehende Begleiterkrankungen, Einnahme von Medikamenten und Allergien gewonnen werden, die für eine spätere Operation wichtig waren.

Der klinische Befund begann immer mit der Inspektion des Patienten. Hier wurde auf Fehlstellungen bzw. pathologische Knochenkonturen, Schwellungen, Prellmarken, Hautläsionen (wie z.B. Schürfwunden, aber auch Pusteln/Akne) geachtet. Auch offene Frakturen konnten hier bereits erkannt bzw. über Hautläsionen vermutet werden. Im Anschluss an die Inspektion erfolgte die körperliche Untersuchung, bei der jede unnötige schmerzverursachende Manipulation möglichst zu vermeiden war. Zunächst wurde eine vorsichtige Palpation vorgenommen, beginnend jeweils an vermutlich nicht schmerzhaften Skelettabschnitten, die beiden angrenzenden Gelenke (Schulter, Ellenbogen), soweit die Schmerzen es zuließen, mit einbeziehend. Unter den sicheren Frakturzeichen sollte das Knochenreiben (Crepitatio) auf keinen Fall provoziert werden, um weitere Weichteil- und Nervenschäden zu vermeiden. Entscheidend bei der ersten klinischen Untersuchung waren außerdem Feststellungen über die peripher der Fraktur gelegenen Zirkulationsverhältnisse (Arterienpuls, Hautfarbe und -temperatur) sowie die Prüfung der Sensibilität und, soweit es möglich ist, der Motorik. Bei Verdacht auf Humerusschaftfrakturen sollte das Augenmerk vor allem auf Nervenschäden des N. radialis und Schäden der A. brachialis gerichtet werden. Ziel der körperlichen Untersuchung war, eine Verdachtsdiagnose zu erstellen, die nötige radiologische Diagnostik auf ein Minimum zu beschränken und bereits vorbestehende Schäden, wie z. B. eine primäre Radialisläsion oder eine Verletzung der Gefäße, festzustellen und zu dokumentieren.

Bei der radiologischen Untersuchung sollten möglichst Standardröntgenaufnahmen des gesamten Oberarmes in zwei aufeinander senkrecht stehenden Ebenen unter Abbildung der benachbarten Gelenke angefertigt werden. Dies war in der Regel im a.-p. (anterior-posteriores) sowie im seitlichen Strahlengang üblich. Gegebenenfalls konnten nach Auswertung dieser Aufnahmen Zusatzaufnahmen (wie z. B. Tomographie) angefordert werden.

Nach abgeschlossener Diagnostik wurden mit dem Patienten die Diagnose und die daraus folgende Therapie besprochen. Offene Frakturen, Frakturen mit Nerven- und/oder Gefäßschäden, polytraumatisierte Patienten, bilaterale und Kettenfrakturen waren absolute Operationsindikationen. Um dem Patienten die Möglichkeit einer Wahl zwischen operativer und konservativer Therapie zu geben, wurden mit dem Patienten zusätzlich die Vor- und Nachteile einer konservativen Therapie besprochen, dies sind

v.a. längeranhaltende Schmerzen, später einsetzende frühfunktionelle Nachbehandlung und fehlende OP-Risiken.

Noch in der Ambulanz wurden eventuell vorhandene Schürfwunden desinfiziert und gegebenenfalls der Tetanusschutz erneuert. Ein Analgetikum wurde frühzeitig nach der ersten klinischen Untersuchung verabreicht. Offene Frakturen wurden, sofern das noch nicht am Unfallort geschehen war, steril abgedeckt. Dies sollte möglichst noch vor der radiologischen Untersuchung geschehen und der Verband sollte erst im Operationssaal unter hochseptischen Bedingungen wieder geöffnet werden. Bei offenen Frakturen wurde in der Ambulanz bereits mit einer Antibiotikaphylaxe (z.B. 2 g Cefazolin) begonnen.

Weiterhin erhielt der Patient zur Ruhigstellung des Armes eine Armschlinge oder einen Gilchristverband. Der Arm wurde zur Schmerzlinderung und Abschwellung lokal gekühlt, ggf. wurden systemische Analgetikagaben verabreicht. Bei bettlägerigen Patienten genügte eventuell die Lagerung des Armes auf einem Kissen. Es wurden noch die üblichen präoperativen Vorbereitungen (EKG, Labor, ggf. Röntgenthorax, Desinfektion und soweit möglich Rasur des OP-Gebietes) durchgeführt. Nach Absprache mit dem OP-Team wurde der Patient dann direkt ohne Verzögerung von der Ambulanz in den OP-Saal gebracht. Konnte die Operation erst am nächsten Tag erfolgen, wurde der Patient stationär aufgenommen.

2.1.2. Operation

In der Regel erfolgte die stationäre Aufnahme und Durchführung der Operation noch am selben Tag, vorausgesetzt es bestanden keine Kontraindikationen oder keine weitere OP-Vorbereitungen waren aus dermatologischer (z.B. Akne) oder internistischer Sicht (z.B. Herzinsuffizienz, KHK usw.) nötig. Absolute Indikation zur sofortigen Operation waren offene Frakturen und Frakturen mit Gefäß- und Nervenläsionen.

Der Eingriff selbst erfolgte in einem zentralen aseptischen Operationstrakt. Die Narkoseeinleitung wurde separat vom eigentlichen Operationssaal in einem eigens dafür vorgesehenen Vorbereitungsraum durchgeführt. Operiert wurde immer in Intubationsnarkose und in Bauchlage. Unter den Oberkörper und das Becken wurden Kissen als Unterpolsterung zum Schutz vor Druckschäden gelagert. Der Oberarm lag auf einem kurzen strahlendurchlässigen anmontierten Tischchen, der Unterarm hing

rechtwinklig gebeugt herab. Vor dem sterilen Abdecken erfolgte zunächst die Kontrolle des Frakturstandes und die Darstellung des Oberarmkopfes mit dem Bildwandler. Anschließend wurde das Operationsgebiet mit einer PVJ- Lösung desinfiziert und mit sterilen Tüchern abgedeckt. Der betroffene Arm blieb dabei frei beweglich. Auf das OP-Gebiet wurde eine Inzisionsfolie aufgeklebt, ein Sauger und eine Koagulations- elektrode wurden angeschlossen. Abschließend erfolgte die sterile Abdeckung des Bildwandlers.

Nun erfolgte ein dorsomedianer Hautschnitt von 8-10 cm Länge über der Tricepssehne beginnend bis zur Olekranonspitze. Subkutis und Tricepssehne wurden längs gespalten, die Tricepsmuskulatur wurde stumpf mit einer Schere auseinandergedrängt. Nach Setzen eines selbsthaltenden Sperrers wurde der distale Humerus etwa 1 cm oberhalb der Fossa olecrani dargestellt und ein ca. 1,0 x 1,5 cm großes Knochenfenster angelegt. Dies geschah durch vier im Rechteck liegende Bohrungen mit dem 4,5er Bohrer und Herausschlagen des dazwischen liegenden Cortikalisdeckels mittels eines Meißels. Als Nächstes wurde die Markhöhle mit der Kugelfräse eröffnet. Jetzt erfolgte unter Bildwandlerkontrolle das Einbringen eines geraden ungekürzten Pilot-Rush-Pins* zur Längenbestimmung über die distale Fraktur bis in das Kopffragment. Anhand des Überstands dieses Pilot-Pins konnten nun die weiteren Rush-Pins auf die richtige Länge gekürzt werden. Vor dem Einbringen der nächsten Pins wurden diese am oberen Ende kufenartig mit Hilfe eines Biegeinstrumentes manuell vorgebogen. Die Kufe hatte in der Regel eine Länge von ca. 4-5 cm, von Pin zu Pin war die Richtung der Kufe unterschiedlich. Dies diente zur optimalen fächerförmigen Verankerung im Humeruskopf, die wiederum die Rotationsstabilität gewährleisten soll (Prinzip der Spongiosanagelung: Bündelspreizung im metaphysären Bereich). Beim Einbringen des ersten Pins sollte noch kontinuierlich durchleuchtet werden, bei den folgenden nur noch beim Passieren der Fraktur und zur Lagekontrolle der Pin-Enden im Humeruskopf. Nach Einbringen des ersten längenangepassten Pins wurde der Pilot-Rush-Pin wieder entfernt. Es sollte versucht werden, mindestens 3 Rush-Pins einzubringen (Prinzip der Taillenschnürung: Verklemmung des Nagelbündes in der Diaphysentaille) und es sollte darauf geachtet werden, dass das Nagelbündel sich gut im Einschlagfenster verklemmt (Prinzip der Fensterschnürung). Falls ein weiterer dicker Rush-Pin die Fraktur nicht mehr passieren kann, könnte man noch versuchen, einen etwas dünneren einzubringen. Für das Einschlagen stand ein Handgriff zur Verfügung, den man ggf. auch mit Hilfe

eines Hammers weiter vorantreiben konnte. Um ein Perforieren des Pins zu vermeiden, v.a. beim osteoporotischen Knochen, sollte man jedoch möglichst versuchen, die Pins manuell voranzutreiben. Gegen Ende der Operation konnte man, um eine optimale Verkeilung zu erlangen, Kurznägel zur Auffüllung des fensternahen konvergierenden Markraumtrichters einbringen (Prinzip der Verkeilungsnagelung). Abschließend wurde eine Bildwandlerkontrolle in beiden Ebenen zur korrekten intramedullären Lage durchgeführt und zur Kontrolle, ob ein Fragmentkontakt der Fraktur bestand. Außerdem wird unter Durchleuchtung die Stabilität der Osteosynthese geprüft. Zusätzliches Augenmerk sollte auch darauf gerichtet werden, dass kein Pin die Humeruskopf-kortikalis perforierte und die Pins bei Bewegung keine Dislokationstendenz zeigten, was gegen eine spätere frühfunktionelle Nachbehandlung sprechen würde.

Abschließend erfolgt Muskelnahrt, Subcutan- und Faszien-Nahrt en bloc, Hautnahrt mittels Rückstich- oder Intracutan-Nahrt. Nach dem schichtweisen Wundverschluss und Legen von zwei Redondrainagen (eine zwischen Humerus und Muskulatur und eine subkutan) wurde ein steriler Verband angelegt. Bevor die Narkose beendet wurde, musste der Patient wieder in die Rückenlage umgelagert werden. Der Arm wurde dann in leichter Abduktion und bei gebeugtem Ellenbogengelenk auf einem Kissen gelagert. Auf Station konnte der Patient dann entsprechend der Beschwerden eine Armschlinge erhalten.

In dem anschließend zu erstellenden Operationsbericht musste auf jeden Fall die Anzahl der Pins erwähnt werden, was für eine spätere Materialentfernung wichtig ist. Der Operateur legt das Bewegungsausmaß der Nachbehandlung anhand der erreichten Stabilität fest.

* Da Bündelnägel, wie sie von *Hackethal* verwandt wurden, nicht mehr hergestellt werden, wurden in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses zunächst Rush-Pins oder vergleichbar dimensionierte Stahlnägel und seit 1995 hakenförmige, runde Marknägel in zwei Stärken (3,2 und 2,44 mm) und zwei Längen (25,5 und 31,5 cm) der Firma Aesculap benutzt (Abb. 12).

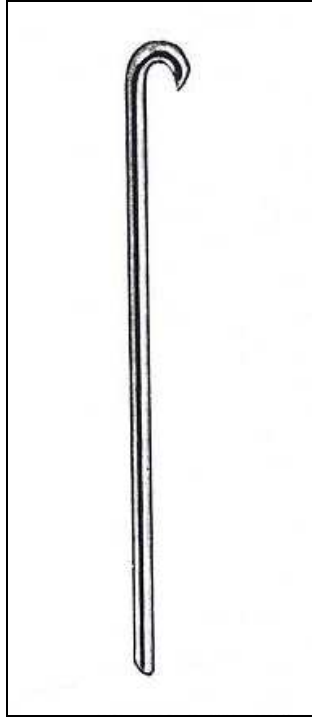


Abb. 12 Marknagel (Fa. Aesculap)

2.1.3. Nachbehandlung

Noch am Operationstag wurden durch eine Röntgenkontrolle, möglichst in 2 Ebenen, die korrekte intraossäre Lage der Pins und die Stellung der Fraktur überprüft. Weitere Röntgenkontrollen wurden in regelmäßigen Abständen – alle drei Wochen - bis zur Konsolidierung der Fraktur und unmittelbar vor der Materialentfernung durchgeführt. So sollten Komplikationen wie Pin-Wanderungen oder -Perforationen und Frakturdislokationen frühzeitig erkannt werden. Postoperativ sollte sofort die Funktion des N. radialis und der A. radialis überprüft werden. Nach der Aufwachphase durfte der Patient je nach Allgemeinzustand mit oder ohne Begleitung aufstehen und herumlaufen. Der Arm sollte zunächst in einer Armschlinge getragen werden. Je nach Stärke der Wundschmerzen wurden orale oder i.v.-Analgetika verabreicht und der Arm konnte lokal gekühlt werden.

Die postoperative Behandlung basierte auf den Prinzipien der funktionellen Nachbehandlung, vorausgesetzt durch die Operation konnte eine Übungsstabilität erreicht werden. Vom ersten postoperativen Tag an wurden isometrische Übungen zur

Muskelkräftigung des Ober- und Unterarmes gemacht, fakultativ erfolgte die Lymphdrainage. Nach Entfernung der Redondrainagen am zweiten postoperativen Tag konnte mit aktiven und passiven Bewegungsübungen für das Ellenbogen- und Schultergelenk begonnen werden. Während der ersten zwei Wochen nach der Operation sollten Rotationsbewegungen vermieden werden. In den Ruhephasen konnte der Patient den Arm in einer Schlinge tragen. Die Wundheilung wurde durch regelmäßige Verbandswechsel kontrolliert und die Entfernung der Hautfäden erfolgte nach zehn bis vierzehn Tagen.

Nach Entlassung aus dem stationären Bereich wurden krankengymnastische Übungen verordnet, die ab der dritten Woche durch Rotationsübungen erweitert werden konnten. Der Patient stellte sich in regelmäßigen Abständen ambulant zur Befundkontrolle und zur Anfertigung von Röntgenkontrollen vor. Eine Belastung des Armes wurde erst nach radiologischer Durchbauung gestattet. Je nach Röntgenbefund erfolgte die Metallentfernung nach etwa zwölf Monaten. Bei Patienten im fortgeschrittenen Alter, bei denen die Risiken einer erneuten Operation den Nutzen der Metallentfernung überwogen, konnte auf eine Entfernung verzichtet werden. Bei Patienten mit Komplikationen wie z.B. Nagelwanderung oder -perforation konnte es ggf. notwendig sein, die Pins früher zu entfernen. Meist erfolgte die Materialentfernung in Intubationsnarkose, Lokalanästhesie war jedoch auch möglich.

2.2. Auswertung der Krankenblattunterlagen

Von allen nachuntersuchten Patienten wurden zunächst die vorliegenden Krankenblätter durchgesehen. Aus diesen konnten das Alter und Geschlecht des Patienten, die Seite der Verletzung und ob diese am dominanten Arm erfolgte, der Verletzungsmechanismus, die Frakturart und etwaige Begleitverletzungen ermittelt werden.

Außerdem konnten nähere Angaben über die Operationen wie Operationszeitpunkt, Operationsdauer, Übungsstabilität postoperativ, die Anzahl der Bündelnägel und Zeitpunkt der Materialentfernung entnommen werden.

Bei der Durchsicht der Unterlagen konnten schließlich noch etwaige Komplikationen registriert werden.

2.3. Nachuntersuchung

Die Nachuntersuchung gliederte sich in drei Teile:

1. Fragebogen, vom Patienten auszufüllen (Abb. 13)
2. Klinische Untersuchung
3. Radiologische Untersuchung

Hierbei sollten vor allen Dingen folgende Kriterien beurteilt werden:

- vorhandene Restbeschwerden einschließlich Wetterfühligkeit sowie Schmerzen in Ruhe und bei Belastung
- funktionelles Ergebnis mit Bewegungsumfang , Kraftmessung im Seitenvergleich und neurologische Defizite
- radiologisches Ergebnis mit Arthrosezeichen der angrenzenden Gelenke, knöcherner Durchbauung der Fraktur und verbliebenen Fehlstellungen
- kosmetisches Ergebnis
- subjektive Einschätzung des Patienten

Diese wurden dann mit dem Bewertungsschlüssel nach *Kwasny* (83) (Abb. 14) ausgewertet.

2.3.1. Fragebogen

Dem Patienten wurde mit dem Anschreiben ein Fragebogen zugesandt, der bereits zu Hause ausgefüllt werden sollte und der bei der Nachuntersuchung mit dem Patienten gemeinsam noch einmal durchgegangen wurde. Neben persönlichen Daten wie Alter, Geschlecht, Seite der Verletzung sollte er Auskunft darüber geben, ob Beschwerden im operierten Arm beständen, welcher Art sie waren und wie sie den Patienten im täglichen Leben, sowohl beruflich als auch im Freizeitbereich, beeinflussten. Zusätzlich sollten die Patienten die Kraftleistung subjektiv einschätzen und das Behandlungsergebnis in Noten von eins bis sechs einteilen. Die Patienten wurden schließlich gefragt, ob sie retrospektiv betrachtet eine konservative Therapie der operativen vorziehen würden (Abb. 13).

FRAGEBOGEN zur Nachuntersuchung nach einer operativ versorgten Oberarmfraktur

Bitte füllen sie den Bogen so genau wie möglich aus. Alle Fragen beziehen sich auf den derzeitigen Zustand des Oberarmes. Sollten Unklarheiten bestehen, können wir diese gemeinsam am Nachuntersuchungstag besprechen. Selbstverständlich wird Ihr Name und Ihre Anschrift in der weiteren Auswertung nicht mehr verwendet, sie dienen lediglich der Zurodnung unserer Krankenblätter.

1. Personaldaten

Name: Alter am Unfalltag:
 Geschlecht: Seite der Verletzung
 Rechts- oder Linkshänder:

2. Beruf - Tätigkeiten

Bitte genauer beschreiben (z.B. sitzende Tätigkeit, Heben von Lasten bis zu .. kg)
 Vorherige Beruf ist durch Unfall beeinträchtigt ja, nein
 sitzende Tätigkeit, stehende Tätigkeit
 Heben von leichten Lasten, Heben von schweren Lasten

3. Wiederaufnahme der beruflichen Tätigkeit

Bitte den Zeitpunkt der Wiederaufnahme des unter 2. genannten Berufes

4. Sport

Betriebene Sportarten vor dem Unfall
 Bitte dazu für jede Sportart angeben:
 Profi / Vereinsamateur / Schulsport / Betriebssport / nicht organisierter Freizeitsport

5. Wiederaufnahme der sportlichen Betätigung

Bitte den Zeitpunkt der Wiederaufnahme der unter 4. angegebenen Sportarten angeben.

6. Schmerzen (bitte ankreuzen)

- keine Schmerzen
- Gelegentlich Schmerzen bei Belastung und Sport
- Immer Schmerzen bei Belastung und Sport, jedoch noch sportfähig
- Nicht mehr sportfähig wegen Schmerzen, jedoch kein Ruheschmerz
- Ruheschmerz, jedoch ungestörter Schlaf
- Schlaf durch Schmerzen gestört

7. Wetterfähigkeit (bitte ankreuzen)

- vorhanden
- nicht vorhanden

8. Kraftleistung (bitte ankreuzen)

gehoben werden kann
 ein Buch
 eine Einkaufstasche
 ein voller Getränkekasten
 Subjektiv ist der Arm genauso kräftig wie vor dem Unfall ja, nein

9. Ihre Beurteilung des Behandlungsergebnisses

Bitte urteilen Sie nach Noten wie in der Schule von eins (sehr gut) bis sechs (ungenügend)

- 1, 2, 3, 4, 5, 6
- Würden Sie aus heutiger Sicht eine nicht operative Behandlung vorziehen (z.B. Verband, Gips für 6 Wochen)
- ja, nein

10. Unfallunabhängige Erkrankungen

Welche Medikamente müssen regelmäßig eingenommen werden?

Abb. 13 Patientenfragebogen

2.3.2. Klinischer Befund

Der klinische Befund gliedert sich in folgende Teile:

- Inspektion
- Palpation
- Funktionsprüfung
- Kraftmessung
- Neurologie

Die klinische Untersuchung begann zunächst mit der vergleichenden Inspektion der entkleideten oberen Extremitäten. Hierbei wurde auf Seitendifferenzen im Bereich der Muskulatur, Achsfehlstellungen und Narbenverhältnisse der alten Operationsnarbe geachtet. Dies wurde noch durch Messungen der Narbenbreite und Umfangmaße der Muskulatur im Vergleich zur Gegenseite 15 cm oberhalb und 10 cm unterhalb des Epikondylus radialis humeri objektiviert.

Anschließend erfolgte die Palpation der Schulterregion bis zum Ellenbogengelenk hinsichtlich Parästhesien und Sensibilitätsminderungen im Bereich der Narbe. Zusätzlich wurde der Oberarm auf klinische Stabilität und Krepitationen überprüft und die peripheren Arterienpulse wurden getastet.

Die Funktionsprüfung umfasste den Bewegungsumfang beider oberer Extremitäten, hier vor allem die Beweglichkeit des Schultergelenkes (Adduktion, Abduktion, Elevation, Ante- und Retroversion, Innen- und Außenrotation) und des Ellenbogengelenkes (Flexion, Extension), und die Prüfung der Funktionsgriffe Schürzen- und Nackengriff. Außerdem wurde der geringste Abstand zwischen Daumen und Vertebra prominens im Seitenvergleich gemessen.

Zuletzt wurde der Patient hinsichtlich neurologischer Defizite untersucht. Dabei wurde vor allem auf die Funktion des Nervus radialis geachtet, die Muskeleigenreflexe wurden im Seitenvergleich untersucht und das Ausmaß von Parästhesien bzw. Hypästhesien festgehalten.

Bei einigen ausgewählten Patienten erfolgte im Anschluss an die Untersuchung eine Fotodokumentation der Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk. Voraussetzung war deren Einverständnis.

Nun wurde die grobe Kraft mit Hilfe einer Federwaage mit Handgriff bestimmt, welche sitzend bei 90° flektiertem Ellenbogengelenk, an den Oberkörper adduziertem Oberarm

und supiniertem Unterarm durch Flexion im Ellenbogengelenk angezogen werden musste. Auch hier wurde die Gegenseite zum Vergleich mitgemessen.

2.3.3. Radiologischer Befund

Die Auswertung der radiologischen Befunde gliederte sich in zwei Teile: einmal die Auswertung der bereits vorhandenen Röntgenaufnahmen hinsichtlich Frakturlokalisation, AO-Klassifikation, Zeitpunkt der Frakturkonsolidierung und Komplikationen wie Nagel/Pin-Wanderung, Nagel/Pin-Perforation, Osteitis und Ossifikationen; zum Zweiten wurden im Zuge der Nachuntersuchung im Anschluss an die klinische Untersuchung bei jedem nachuntersuchten Patienten Röntgenaufnahmen des Oberarms in zwei Ebenen, das Ellenbogen- und Schultergelenk mit abbildend, durchgeführt.

Anhand dieser Aufnahmen wurde zunächst eine vorhandene Fehlstellung im Bereich des Humerusschaftes, a.p. und seidl. in Grad ausgedrückt, gemessen. Es wurde nach Arthrosezeichen im Bereich der angrenzenden Gelenke im Vergleich zu den präoperativen Aufnahmen gesucht. Zuletzt wurde die knöcherne Durchbauung der Fraktur beurteilt. Knöchern konsolidiert galt eine Fraktur, die an mindestens drei von vier Seiten auf den beiden Röntgenaufnahmen deutliche Kallusreaktionen nachweisen konnte.

2.3.4. Gesamtbeurteilung

Die durch die Nachuntersuchung ermittelten Daten wurden anhand eines Bewertungsschlüssels zu einer Gesamtbeurteilung zusammengefasst.

2.3.4.1. Vorstellung des in der Arbeit verwendeten Bewertungsschlüssels nach Kwasny

Nach Durchsicht einschlägiger Literatur übernahmen wir einen von *Kwasny* (64) entworfenen Schlüssel zur Bewertung mittels Plattenosteosynthese operativ versorgter Oberarmschaftfrakturen.

Der Schlüssel ist in insgesamt sieben Bewertungskriterien unterteilt (Abb. 14). Es werden die subjektiven Kriterien Schmerz und Patientenurteil als auch die objektivierbaren Parameter wie Beweglichkeit im Ellenbogen- und Schultergelenk, Kraft, Neurologie, Röntgenergebnis und kosmetisches Resultat beurteilt.

Bei der Wertung des subjektiven Patientenurteils können bis zu drei Punkte erreicht werden. Grundlage sind die Schulnoten von eins bis sechs zur Beurteilung des Behandlungsergebnisses auf den Patientenfragebogen. Patienten, die Noten eins und zwei ankreuzen, werden als seitengleich eingeschätzt und bekommen die Punktzahl 0. Schulnoten von drei bis vier werden als zufrieden beurteilt und bekommen einen Punkt, die Noten fünf und sechs bekommen als schlechte Beurteilung die Punktzahl drei.

Für die Stärke der Beschwerden gibt es insgesamt fünf Punkte. Schmerzfreiheit erhält keinen Punkt, Beschwerdefreiheit bis auf Wetterfühligkeit bekommt einen Punkt. Schmerzen nach starker Belastung werden mit zwei Punkten und nach leichter Belastung mit drei Punkten bewertet. Die maximale Punktzahl mit fünf Punkten wird an Patienten mit Dauerschmerzen vergeben.

Bei der Beurteilung der Beweglichkeit wird der Bewegungsumfang der Schulter und des Ellenbogens getrennt bewertet. Als Maßstab wird immer die unverletzte Seite genommen, bei freier bzw. seitengleicher Beweglichkeit gibt es null Punkte.

Bewegungsdifferenzen der Schulter von bis zu 10 Grad erhalten einen Punkt, Differenzen bis zu 20 Grad zwei. Ist der Seitenunterschied größer als 20 Grad, gibt es drei Punkte. Gemessen werden Abduktion, Adduktion, Elevation, Anteversion, Retroversion, Außenrotation und Innenrotation nach der Neutral-Null-Methode.

Bei der Beurteilung des Ellenbogens werden Extension und Flexion getrennt bewertet. Extensiondefizite von bis zu 10 Grad erhalten einen Punkt, bis zu 20 Grad zwei Punkte und mehr als 20 Grad drei Punkte. Flexionsdefizite von bis zu 20 Grad erhalten einen Punkt, bis zu 40 Grad zwei Punkte und mehr als 40 Grad drei Punkte.

Die radiologischen Ergebnisse werden bezüglich ihrer knöchernen und achsengerechten Konsolidierung ausgewertet. Eine achsengerechte Ausheilung erhält keinen Punkt, Fehlstellung bis zu 10 Grad einen Punkt und mehr als 10 Grad zwei Punkte. Eine Pseudarthrose bzw. fehlende knöcherne Konsolidierung wird mit fünf Punkten bewertet. Dabei werden die Aufnahmen sowohl seitlich als auch a.-p. bewertet. Eine knöcherne Ausheilung mit einer Dislocatio ad latus wird nicht als Fehlstellung bewertet, vorausgesetzt der Versatz beträgt nicht mehr als Kortikalisbreite.

Seitendifferenzen der groben Kraft von mehr als ein Drittel im Vergleich zur unverletzten Seite bekommen drei Punkte. Ist die Differenz weniger bzw. bis zu einem Drittel, gibt es einen Punkt. Ist die verletzte Seite genauso kräftig oder kräftiger, erhält der Patient keinen Punkt. Dabei wird nicht mit in Betracht gezogen, ob es sich bei der verletzten Seite um die dominante Seite handelt oder nicht.

Bei der Beurteilung des kosmetischen Ergebnisses gibt es maximal drei Punkte, diese werden für eine von außen sichtbare Fehlstellung vergeben. Eine kosmetisch störende Narbe erhält einen Punkt, für eine lineare Narbe wird kein Punkt vergeben. Als kosmetisch störend bewerteten wir hypertrophe Narben bzw. Narbenkeloide und Narben mit 5 mm Breite und mehr.

Zur Bewertung der neurologischen Defizite gibt es insgesamt vier Kategorien. Keine neurologischen Ausfälle oder vollständige Erholung eines neurologischen Defizits bekommen keinen Punkt. Bestehende Sensibilitätsstörungen ohne motorische Ausfälle bei vorbestehender Läsion erhalten einen Punkt. Für eine unverändert fortbestehende Störung wie vor dem Beginn der Behandlung gibt es drei Punkte. Tritt die Störung erst nach der Behandlung auf, wird die maximale Punktzahl von fünf Punkten gegeben.

Die Ergebnisse werden in vier Gruppen unterteilt:

Die Punkte aus den einzelnen Bewertungskriterien werden zu einem Gesamtergebnis addiert. Patienten, die maximal 2 Punkte erreichen, erhalten das Ergebnis sehr gut, mit zwei bis sechs Punkten gibt es die Bewertung gut, ein befriedigendes (bzw. mäßiges) Ergebnis gibt es für die Punktzahl sieben bis zehn. Ergebnisse bei denen mehr als zehn Punkte erreicht werden, werden als ausreichend (bzw. schlecht) eingestuft.

Die Punkte in den einzelnen Kategorien werden so aufgeteilt, dass ein völlig unzufriedener Patient, der als schlechtes subjektives Ergebnis drei Punkte erhält, kein sehr gutes Gesamtergebnis mehr erhalten kann. Dagegen kann ein Patient mit einer kosmetisch störenden Narbe bei sonst unauffälligem Untersuchungsergebnis immer noch ein sehr gutes Ergebnis erzielen.

Bewertungsschlüssel zur Beurteilung der Ergebnisse nach operativ behandelten Oberarmfrakturen nach Kwasny.			
Bewertungskriterien			
Subjektiv:		Röntgen:	
seitengleich	0	Ausheilung achsengerecht	0
zufrieden	1	Fehlstellung -10°	1
schlecht	3	Fehlstellung $>10^\circ$	2
		Pseudarthrose	5
Schmerzen:		Kraft:	
Wetterfähigkeit	1	seitengleich	0
nach starker Belastung	2	- 1/3	1
nach geringer Belastung	3	$> 1/3$	3
ständig	5		
Beweglichkeit		Kosmetisches Resultat:	
frei	0	zufrieden	0
<i>Schulter</i> -10°	1	kosmetisch störende Narbe	1
-20°	2	Fehlstellung	3
$>20^\circ$	3		
<i>Ellenbogen</i> Ext. -10°	1	Neurologie:	
Flex. -20°	1	keine/vollständige Erholung	0
Ext. -20°	2	Sensibilitätsstörung bei	
Flex. -40°	2	vorbestehender Läsion	1
Ext. $>20^\circ$	3	Störung wie vor Behandlung	3
Flex. $>40^\circ$	3	Strg. erst nach Behandlung	5
ERGEBNIS:			
Sehr gut: 0-2;	gut: 3-6;	mäßig: 7-10	schlecht: >10

Abb. 14 Bewertungsschlüssel nach Kwasny (64)

2.3.4.2. Vorstellung anderer in der Literatur beschriebenen Bewertungsschlüssel zur Beurteilung der Behandlungsergebnisse nach Oberarmfrakturen

Um Behandlungsergebnisse auf einen Blick darzustellen, gibt es in der Literatur viele unterschiedliche Bewertungsschlüssel und Scores. Aus diesen Scores werden insgesamt 5 der häufigsten ausgewählt und dargestellt. Mit den Scores aus 2.3.4.2.1. und 2.3.4.2.2. werden unsere Behandlungsergebnisse in der Diskussion verglichen.

2.3.4.2.1. Bewertungsschlüssel nach Baranowski

In diesem Schema werden die subjektiven Beschwerden wie Schmerz sowie die objektiven Kriterien wie Bewegungsumfang, Frakturheilung und radiologische Fehlstellung berücksichtigt und in vier Kategorien eingeteilt. Eine Bewertung nach Punkten für die einzelnen Kriterien, die dann eine Gesamtsumme und ein Gesamtergebnis ergeben, erfolgt nicht. Bei einem erreichten Kriterium in der jeweiligen Kategorie fällt man automatisch in die jeweilige Kategorie.

Sehr gut	Fraktur knöchern konsolidiert Gelenkbeweglichkeit frei Keine Beschwerden
Gut	Fraktur knöchern konsolidiert Gelenkbeweglichkeit bis 15° eingeschränkt Gelegentliche Beschwerden
Mäßig	Fraktur knöchern konsolidiert, Achsenfehlstellung über 15° Gelenkbeweglichkeit bis 30° eingeschränkt Häufigere oder stärkere Beschwerden
Schlecht	Fraktur knöchern nicht konsolidiert Gelenkbeweglichkeit über 30° eingeschränkt Beschwerden dauerhaft

In der Arbeit von *Baranoswki* (6) wurden 53 Patienten mit einer mit Bündelnagelung versorgten Oberarmschaftfraktur nachuntersucht. Davon konnte bei 88,7% der Patienten ein sehr gutes, bei 9,4% der Patienten ein gutes und bei 1,9% der Patienten ein schlechtes Ergebnis festgestellt werden.

2.3.4.2.2. Bewertungsschlüssel nach Wasmer

Bei einem weiteren häufig benutzten funktionellen Bewertungsmaßstab nach *Wasmer* (125,126) erfolgt die Bewertung des Behandlungsergebnisses nach der Beurteilung der Kriterien Beweglichkeit der Anschlussgelenke sowie der Beschwerdesymptomatik und ihre Einteilung in 4 Kategorien. Dieser wurde z.B. auch von *Reck* (93) und *Helmreich* (40) genutzt.

I	Sehr gut	Seitengleiche freie Beweglichkeit der Anschlussgelenke, keine Beschwerden
II	Gut	Endgradig messbare Bewegungseinschränkung ohne funktionelle Einbuße. Keine oder minimale Beschwerden oder subjektive Behinderung
III	Befriedigend	Gesamtbewegungseinschränkung unter 45° im Schultergelenk, unter 20° im Ellenbogen. Schürzen- und Nackengriff möglich. Nur gelegentlich Beschwerden
IV	Schlecht	Starke Bewegungseinschränkung (Schulter bis Horizontale, Ellenbogen bis 30° Gesamtbewegungseinschränkung). Belastungsschmerz

In der Arbeit von *Wasmer* (125) erzielten bei der Nachuntersuchung von 49 Patienten mit Humerusschaftfrakturen und deren konservativer Behandlung nach Sarmiento 36,7% ein sehr gutes, 36,7% ein gutes, 22,4% ein befriedigendes und 4% ein schlechtes Ergebnis.

2.3.4.2.3. Bewertungsschlüssel mit den Kriterien Beweglichkeit des Schulter- und Ellenbogengelenks

Häufig erfolgt aber nur die Bewertung nach der Gelenkfunktion des Schulter- und Ellenbogengelenks ohne Einbeziehung der anderen Kriterien wie Schmerzen, Röntgenbefund, Zufriedenheit des Patienten oder neurologische Ausfälle (12,30,109).

Exzellent (Full)	Schulter- und Ellenbogenfunktion mit weniger als 10° Verlust des Bewegungsausmaßes in jeder Richtung
Befriedigend (Good)	Verlust des Bewegungsausmaßes zwischen 10° und 30°
Schlecht (Poor)	Verlust des Bewegungsausmaßes von mehr als 30°

2.3.4.2.4. Bewertungsschlüssel mit dem Kriterium Schulterbeweglichkeit

Hier wird nur die Beweglichkeit des Schultergelenks (72) ausgewertet:

Gut	Schulterfunktion 100% der Norm
Zufriedenstellend	Schulterfunktion 80-100% der Norm
Ungenügend	Schulterfunktion weniger als 55% der Norm

Normbeweglichkeit:	Einschränkung	
Abd./Add. 180°-0°-40°, 220° = 100%	176° = 80%	121° = 55%
AV/RV 170°-0°-40°, 210° = 100%	168° = 80%	115,5° = 55%
AR/IR 60°-0°-95°, 155° = 100%	124° = 80%	82,5° = 55%

2.3.4.2.5. Bewertungsschlüssel nach dem Constant-Score

Erwähnt sei noch der Constant-Score (23). Hier wird die Schulterfunktion mit den subjektiven Kriterien wie Schmerzen und Aktivitäten des täglichen Lebens sowie den objektiven Kriterien wie Bewegungsumfang und Kraft beurteilt und in vier Kategorien eingeteilt. Dieser ist aber extrem aufwendig für den Arzt und Patienten zu erstellen und bringt gegenüber unserem verwendeten Score keinen Zusatznutzen. Außerdem wird hier nur isoliert die Funktion der Schulter bewertet, die Funktion des Ellenbogens wird nicht mit einbezogen und müsste noch mit einem weiteren Score bewertet werden, wie z.B. dem Mayo-Elbow-Score. Das Bewegungsausmaß des Ellenbogengelenks ist aber gerade für die aufsteigende Bündelnagelung, die von der Fossa olecrani ausgeht, wichtig für das funktionelle Endergebnis.

Viele Autoren teilen ihre Untersuchungsergebnisse aber nur in vier Kategorien ein (sehr gut, gut, mäßig und schlecht), ohne genauere Angaben der zugrunde gelegten Maßstäbe zu machen (84,95,96).

3. Ergebnisse

3.1. Auswertung der Krankenblattunterlagen

Von den im Beobachtungszeitraum (Januar 1990 bis Oktober 2000) operierten 95 Patienten konnten 30 vollständig nach den unter 2.3. aufgeführten Kriterien nachuntersucht werden (31,6 %). Von den verbliebenen 65 Patienten waren 15 Patienten verstorben, 22 Patienten unbekannt verzogen, 8 Patienten lehnten eine Nachuntersuchung ab, 8 Patienten waren aus Krankheitsgründen nicht bereit, zum Untersuchungstermin zu kommen, 12 Patienten blieben dem Untersuchungstermin ohne Angabe von Gründen fern.

Alle im Weiteren aufgeführten Ergebnisse beziehen sich nur auf die vollständig nachuntersuchte Patientengruppe.

3.1.1. Auswertung des stationären Krankenblattes

- Alters- und Geschlechtsverteilung (Abb. 15)

Die meisten operierten Patienten waren Frauen: 22 (73,3%); 8-mal (26,6%) waren Männer betroffen. Die Patienten waren zwischen 19 und 85 Jahre alt, der Altersdurchschnitt lag bei 66,2 Jahren.

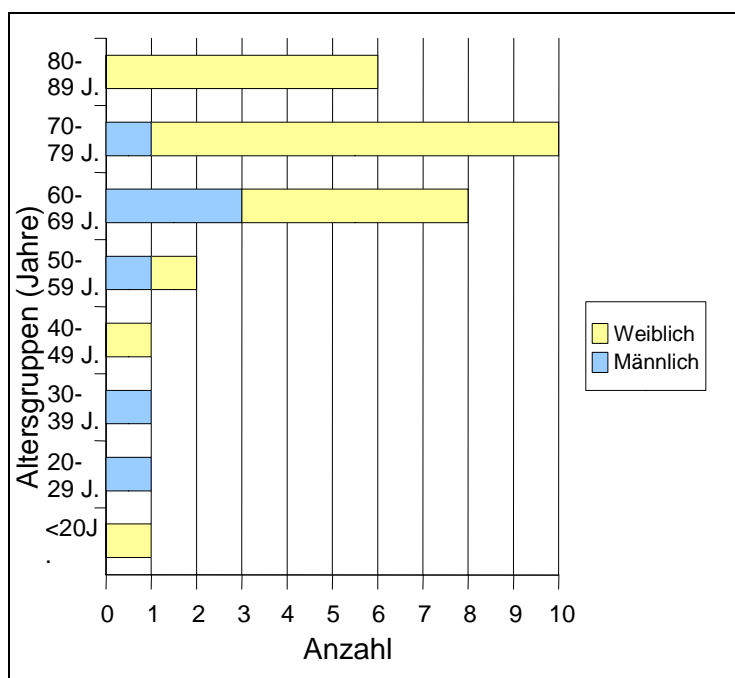


Abb. 15 Geschlechts- und Altersverteilung im nachuntersuchten Patientenkollektiv

- Unfallursachen (Abb. 16)

Als Unfallursachen waren in 83,4% Stürze angegeben, davon 46,7% zu Hause und 36,7% auf der Straße. Verkehrsunfälle mit 13,3% waren am dritthäufigsten, gefolgt von Sportverletzungen mit 3,3%. Arbeitsunfälle waren in unserem Patientenkollektiv nicht vertreten.

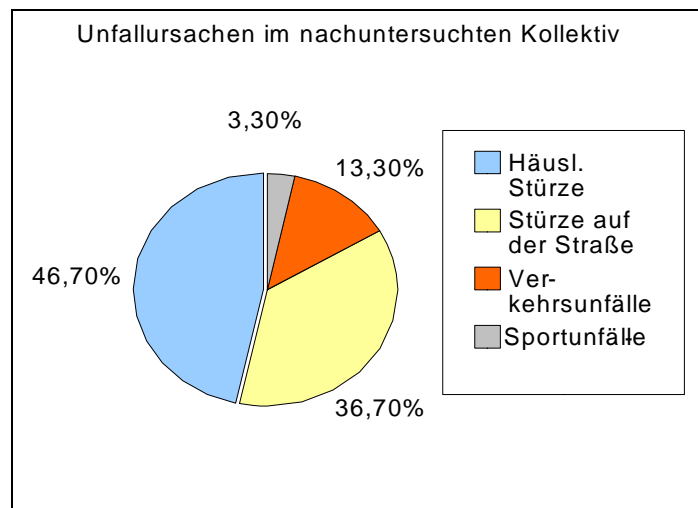


Abb. 16 Unfallursachen im nachuntersuchten Kollektiv

- Frakturlokalisation

14-mal wurde der rechte Arm operiert, 16-mal der linke, die dominante Seite war in 15 Fällen (50%) verletzt worden.

Im mittleren Drittel des Humerusschaftes lagen 12 Frakturen (40%), am Übergang vom proximalen zum mittleren Drittel 12 Frakturen (40%), im proximalen Drittel waren 5 Frakturen (16,6%) und am Übergang vom mittleren zum distalen Drittel war eine Fraktur lokalisiert (3,3%). Im distalen Drittel lag keine Fraktur.

- Frakturformen

Spiralfrakturen waren mit 19 Fällen (63,3%) am häufigsten vertreten, gefolgt von 7 Querfrakturen (23,3%), 2 Schrägfrakturen (6,7%) und jeweils einer Etagen- und Trümmerfraktur (jeweils 3,3%) (Abb. 17).

13 der Frakturen reichten bis in den subkapitalen Bereich (43,3%), davon 3 Frakturen in den Oberarmkopf ausstrahlend.

Bei den 30 operativ versorgten Frakturen fand sich eine offene Fraktur (3,3%).

Pathologische Frakturen wurden nicht berücksichtigt.

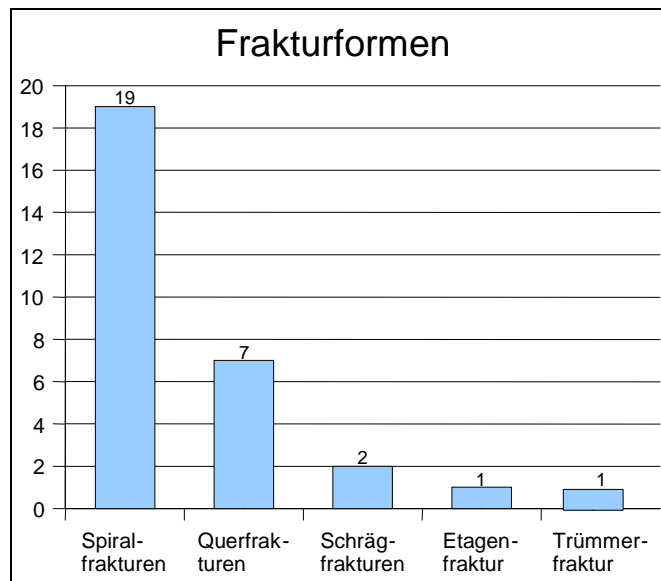


Abb. 17 Frakturformen im nachuntersuchten Kollektiv

Wenn man die Einteilung nach AO zugrunde legt, waren 9 A-Frakturen (30%), 19 B-Frakturen (63,3%) und 2 C-Frakturen (6,7%) vertreten (Abb. 18).

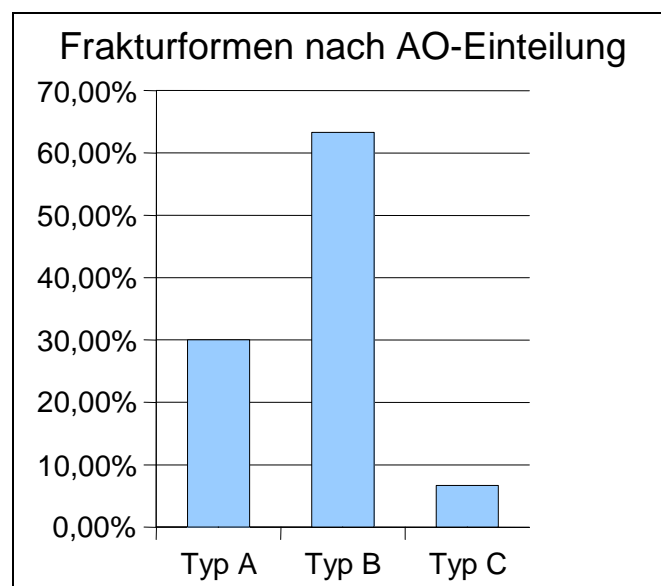


Abb. 18 Frakturformen nach der AO-Einteilung

- Begleitverletzungen

10 Patienten (33,3%) erlitten Begleitverletzungen, davon waren 4 leichte Verletzungen wie Schädel-, Knie-, Beckenprellung. Von den 5 schwerer verletzten Patienten hatte ein Patient eine Radialisparese, 2 Patienten eine Orbitafraktur, ein Patient eine zusätzliche Schulterluxation mit Bankartläsion, ein Patient einen Pneumothorax und ausgedehnte Weichteilverletzungen im Gesicht. Ein Patient war polytraumatisiert (SHT I° mit einer offenen Oberschenkelfraktur mit Plexusparese des anderen Armes und ausgedehnten Bänderverletzungen sowohl am Knie als auch am oberen Sprunggelenk).

- Operative Versorgung

Die operative Versorgung erfolgte bei 22 Patienten (73,3%) primär bzw. um 1-2 Tage nach Unfall verzögert, 4 Patienten wurden aus internistischen Gründen erst nach 4-5 Tagen operativ versorgt. 4 Patienten wurden erst sekundär operiert, 3 Patienten mit Verfahrenswechsel von auswärts primär konservativ versorgten Frakturen, ein Patient aufgrund einer offenen Fraktur mit Verfahrenswechsel von primär Fixateur externe auf anschließende Bündelnagelung.

Der Zeitpunkt der Operation war im Mittel 2 Tage nach Unfall (Spannweite 0-12 Tage nach Unfallereignis).

- Wiederaufnahme der beruflichen Aktivität

Da mehr als die Hälfte der Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls bereits Rentner waren (76,6%), davon 4 Hausfrauen im Rentenalter, lässt sich hier keine exakte Arbeitsunfähigkeit feststellen. Die Patienten gaben an, nach ca. 6-7 Wochen wieder den normalen Alltag bewältigen zu können (Mittelwert 6,2 Wochen, Spannweite 3,5 –12 Wochen). Nur 6 Patienten waren zum Zeitpunkt des Unfalls berufstätig, die durchschnittliche Dauer der Arbeitsunfähigkeit betrug 10 Wochen (Spannweite 4-24 Wochen). Die Differenz der Dauer der Arbeitsunfähigkeit zwischen den Rentnern (6,2 Wochen) und den Berufstätigen (10 Wochen) erklärt sich durch eine Arbeitsunfähigkeit von 12 Wochen bei einem Patienten mit Polytrauma nach Verkehrsunfall. Rechnet man diesen Patienten heraus, beträgt die durchschnittliche Arbeitsunfähigkeit bei den berufstätigen Patienten nur noch 6 Wochen (Spannweite 4-8 Wo), ist also der Dauer bei den berenteten Patienten vergleichbar. Ein Patient war bei Unfalleintritt Student.

- Wiederaufnahme sportlicher Aktivität

50% der behandelten Patienten übten vor und nach der Behandlung keinen Sport aus. Von den restlichen 50% begannen 13 Patienten nach 6.3 Monaten wieder Sport zu treiben (Spannweite 2,5-12 Monate), 2 Patienten (6,6%) übten nach der Humerusfraktur keinen Sport mehr aus, eine Patientin aus Angst vor erneuten Stürzen und der andere Patient aufgrund einer traumatischen Plexuslähmung der Gegenseite.

- Knöcherne Konsolidierung

Die Fraktur war im Mittel nach 6,8 Wochen knöchern durchbaut (Spannweite 6-10 Wochen).

3.1.2. Auswertung der OP-Unterlagen

Die durchschnittliche OP-Dauer für Einzeloperationen des Oberarmes (26-mal) betrug 72 min (Spannweite 30-130 min), für die 4 Operationen, bei denen andere Verletzungen mitversorgt wurden, 100 min (Spannweite 70-170 min). Dabei wurden zweimal Verletzungen im Gesicht, eine offene Oberschenkelfraktur und eine Nervenrevision des N. radialis mitversorgt.

Die OP-Dauer aller Operationen betrug im Schnitt 75,8 min (Spannweite 30-170 min).

Die Anzahl der verwendeten Bündelnägel lag im Mittel bei 3 Bündelnägeln (Spannweite 2-5). Bei 7 Patienten (23,3%) wurden zusätzlich Verkeilungsnägel benutzt. Bei 29 Patienten (96,7%) konnte die Operation geschlossen durchgeführt werden, bei einer Patienten wurde aufgrund einer Nervenrevision bei primärer Radialisparese die Operation offen durchgeführt.

Bei 29 Patienten (96,7%) konnte eine primäre Übungsstabilität postoperativ erreicht werden, ein Patient durfte wegen einer langstreckigen, bis in den Oberarmkopf reichenden Trümmerfraktur die ersten 14 Tage nur geführte Bewegungen durchführen. Bei 21 Patienten (70%) war beim Zeitpunkt der Untersuchung eine Materialentfernung durchgeführt worden, 9 Patienten hatten die Bündelnägel noch nicht entfernen lassen. Im Mittel wurde die Materialentfernung nach 10,3 Monaten durchgeführt (Spannweite 2-24 Monate). Bei den 18 Patienten, die die Nägel im Markus-Krankenhaus entfernen ließen, wurden durchschnittlich 41 Minuten zur Materialentfernung benötigt (Spannweite 20-70 min), eine Patientin hatte sich die Bündelnägel ambulant in örtlicher Betäubung entfernen lassen.

3.1.3. Kasuistiken für komplikationslose Verläufe

Beispielhaft für den typischen Verlauf der Versorgung einer Oberarmfraktur mit Bündelnägeln an unserer Klinik sollen zwei Kasuistiken näher dargestellt werden.

Fall 1:

Der 19-jährige Patient A. A.-B. stürzte beim Besuch einer Musikveranstaltung auf den Boden, als er von einer Bühne ins Publikum springen wollte, dem sogenannten Stage-diving. Hierbei zog er sich eine Beckenprellung und eine geschlossene Querfraktur des linken Oberarmschafts zu (Abb. 19a).

Der Patient wurde noch in der Nacht stationär aufgenommen und nach Abschluss der präoperativen Vorbereitungen konnte am folgenden Tag die Operation durchgeführt werden. Der Eingriff wurde in standardisierter Technik durchgeführt (vgl. 2.1.2.) und es konnte mit zwei Bündelnägeln und einem Verkeilungsnagel eine gute Stabilität und Reposition der Fraktur erreicht werden. Nach Drainage des OP-Gebietes und schichtweisem Wundverschluss wurde der Arm postoperativ in leichter Abduktion und mit gebeugtem Ellenbogengelenk auf einem Kissen gelagert. Die postoperative Röntgenkontrolle bestätigte regelrechte Achsen- und Materialstellungsverhältnisse (Abb. 19b). Da mit der Operation eine Übungsstabilität erreicht wurde, konnte der Patient bereits vom ersten postoperativen Tag an mit isometrischen Übungen beginnen und nach der Entfernung der Redondrainagen mit aktiven und passiven Bewegungsübungen für das Schulter- und Ellenbogengelenk. Der Patient machte rasch Fortschritte, die Wundheilung war primär. Acht Tage postoperativ konnte Herr. A.-B. mit noch liegenden Hautfäden in unsere ambulante Weiterbehandlung entlassen werden. Seine Arbeit als Zivildienstleistender konnte er 6 Wochen postoperativ wieder aufnehmen. Radiologisch konnte 6 Wochen postoperativ die knöcherne Durchbauung bestätigt werden.

Vierzehn Monate postoperativ wurden die Bündelnägel bei einem zweiten stationären Aufenthalt wieder entfernt. Der Patient hatte präoperativ eine freie Beweglichkeit im Schulter- sowie im Ellenbogengelenk und wies reizlose Narbenverhältnisse auf. Nach erneuter primärer Wundheilung konnte der Patient seinen Arm wieder voll belasten.

Anlässlich der Nachuntersuchung knapp dreieinhalb Jahre postoperativ nach der ersten Operation gab Herr A.-B. an, keinerlei Beschwerden zu haben. Der Arm sei subjektiv genauso belastbar wie präoperativ. Bei klinisch und radiologisch konsolidierter Fraktur

war der Bewegungsumfang des linken Schulter- und Ellenbogengelenk frei und seitengleich (Abb. 20). Auch objektiv war die Kraftentfaltung seitengleich. Die Narbe über dem Olekranon war 7 mm breit, weiß und reizlos. Parästhesien, Krepitationen oder Druckschmerz im Bereich des Oberarmes konnten nicht nachgewiesen werden.

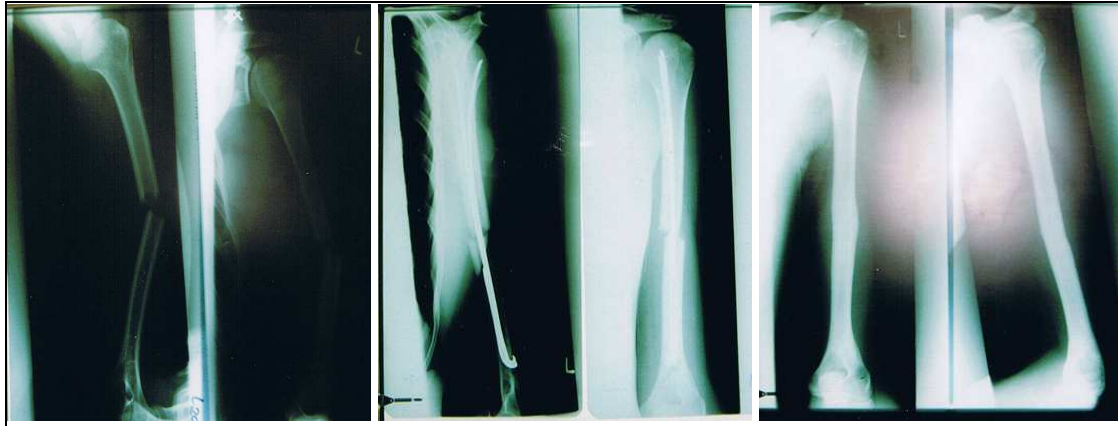


Abb. 19a Unfallaufnahme, b postoperative Aufnahme, c Aufnahme 3,5 J postoperativ bei Nachuntersuchung



Abb. 20 Seitengleicher Nackengriff, Anteversion und Elevation bei der Nachuntersuchung

Radiologisch fand sich eine ohne Fehlstellung knöchern konsolidierte Querfraktur des Humerus, es konnte lediglich eine leichte knöcherne Auftreibung im Bereich des ehemaligen Frakturspaltes gefunden werden (Abb. 19c).

Subjektiv beurteilte der Patient das Ergebnis mit „gut“, unter Anwendung des eigenen Bewertungsschlüssels erzielte der Patient mit 0 Punkten ein „sehr gutes“ Resultat.

Fall 2:

Der 76-jährige Rentner K.L. stürzte auf Glatteis und zog sich bei dem Sturz eine bis in den Oberarmkopf reichende Spiral-Mehrfragmentfraktur des rechten Humerus zu (Abb.

21a). Die stationäre Aufnahme erfolgte am Unfalltag und nach Abschluss der präoperativen Vorbereitungen wurde zwei Tage nach dem Unfallereignis die Operation durchgeführt. Der Eingriff erfolgte in standardisierter Technik (vgl. 2.1.2) und es konnte mit vier Bündelnägeln eine gute Reposition und Stabilität der Fraktur erreicht werden. Der schichtweise Wundverschluss erfolgte in typischer Weise unter Einlage einer Wunddrainage. Der Arm wurde postoperativ auf einem Kissen gelagert, die postoperative Röntgenkontrolle bestätigte regelrechte Achsen- und Materialstellungsverhältnisse (Abb. 21b). Nach Entfernung der Redondrainagen am zweiten postoperativen Tag konnte Herr. L. zusätzlich zur Isometrie mit aktiven und passiven Bewegungsübungen beginnen. Die Wundheilung war primär, der Bewegungsumfang im Schulter- und Ellenbogengelenk machte gute Fortschritte. Am zehnten postoperativen Tag konnte der Patient mit noch liegenden Hautfäden in die ambulante Weiterbehandlung entlassen werden. Sieben Wochen postoperativ konnte radiologisch die knöcherne Durchbauung nachgewiesen werden, eine Wanderungstendenz der perforierten Bündelnägel wurde nicht festgestellt. Herr L. konnte drei Monate nach Operation wieder seinem vorher ausgeübten Sport (Schwimmen) nachgehen. Der Abschluss der ersten Behandlung erfolgte sechseinhalb Monate nach Operation. Vierundzwanzig Monate nach der Implantation der Bündelnägel konnten diese bei einem zweiten stationären Aufenthalt wieder entfernt werden. Die Beweglichkeit im rechten Schultergelenk war präoperativ nahezu frei. Nach erneuter primärer Wundheilung konnte Herr L. seinen Arm wieder voll belasten.



Abb. 21a Unfallaufnahme , b Aufnahme postoperativ



Abb. 21c Aufnahme anlässlich der Nachuntersuchung 5 J. u. 5 Monate postoperativ

Knapp fünfeinhalb Jahre nach Primärversorgung wurde die Nachuntersuchung durchgeführt. Der Patient gab an, bis auf eine Wetterfühligkeit absolut beschwerdefrei zu sein. Bei seitengleicher freier Beweglichkeit sowohl im Schulter- als auch im Ellenbogengelenk konnten kein Druckschmerz, Parästhesien oder Krepitationen nachgewiesen werden (Abb. 22). Die von dem Patienten angegebene subjektiv verminderte Belastbarkeit des rechten Armes seit der Operation hatte kein klinisches Korrelat, mit Hilfe der Federwaage wurde eine seitengleiche Kraftentfaltung beider Arme nachgewiesen. Die Narbe über dem Olekranon war reizlos, weiß und 1 mm breit. Radiologisch fand sich eine in guter Achsstellung knöchern konsolidierte Fraktur. In der a.-p. Aufnahme konnte eine leichte Fehlstellung von 5° nachgewiesen werden, vermehrte Arthrose im Schulter- und Ellenbogengelenk wurde nicht festgestellt (Abb. 21c).



Abb. 22 Seitengleiche Elevation, Nackengriff und Anteversion bei Nachuntersuchung

Subjektiv beurteilte der Patient das Ergebnis mit „sehr gut“, im eigenen Behandlungsschlüssel erzielte der Patient mit 2 Punkten ein „sehr gutes“ Ergebnis.

3.1.4. Komplikationen

Fasst man alle unerwünschten Befunde im Operationsgebiet, einschließlich der folgenlosen Komplikationen, zusammen, so traten bei 12 Patienten (40%) Komplikationen auf.

Bei den insgesamt 8 Nagel-Wanderungen (26,6%), davon jeweils die Hälfte als Lokomotion der Nägel am Einschlagfenster und als Perforation der Bündelnägel durch die Humeruskopfkortikalis, war insgesamt viermal (13,3%) aufgrund von Schmerzen oder Bewegungseinschränkungen eine vorzeitige Materialentfernung notwendig. Das Gesamt-Behandlungsergebnis wurde dadurch jedoch nicht negativ beeinflusst, da die Materialentfernung jeweils nach knöcherner Konsolidierung durchgeführt werden konnte.

Weiterhin kam es zu einem oberflächlichen Weichteilinfekt (3,3%) und zu einer überschießenden Kallusbildung (3,3%). Insgesamt kam es bei zwei Patienten (6,6%) zu neurologischen Defiziten, die sich mehr in Sensibilitätsstörungen als in motorischen Defiziten äußerten, eine sekundäre motorische Radialisparese war nicht nachweisbar. Bei einem Patienten war dies wahrscheinlich durch eine ausgeprägte Kallusbildung im Bereich der Fraktur ausgelöst, bei der anderen Patientin wurden die Beschwerden wahrscheinlich durch ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (Morbus Sudeck) verursacht.

Die Patientin mit primärer Radialisparese war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung vollständig beschwerdefrei, die Radialisparese hatte sich komplett zurückgebildet.

3.1.5. Kasuistiken für Verläufe mit Komplikationen

Fall 1:

Der 65 Jahre alte Patient W. G. wurde als Fahrradfahrer von einem anderen Fahrradfahrer angefahren und zog sich bei dem Sturz eine Spiralfraktur des rechten Humerus (Abb. 23a) und eine Knie- und Schädelprellung mit Kopfplatzwunde zu. Ein Tag nach dem Unfall wurde die Humerusschaftfraktur mit drei Bündelnägeln versorgt.

Der postoperative Verlauf war regelrecht und komplikationslos, die Röntgenaufnahmen postoperativ zeigten regelrechte Achsen- und Materialstellungsverhältnisse (Abb. 23b). Der Patient erzielte eine gute Beweglichkeit des rechten Armes. Nach 16 Monaten konnte die Materialentfernung erfolgen. Auch dieser Eingriff verlief komplikationslos. Der Patient war nach Abschluss der Behandlung beschwerdefrei, es bestanden keine neurologischen Ausfälle, die Beweglichkeit im Bereich des Schulter- und Ellenbogengelenks (Abb. 24) war frei und seitengleich.

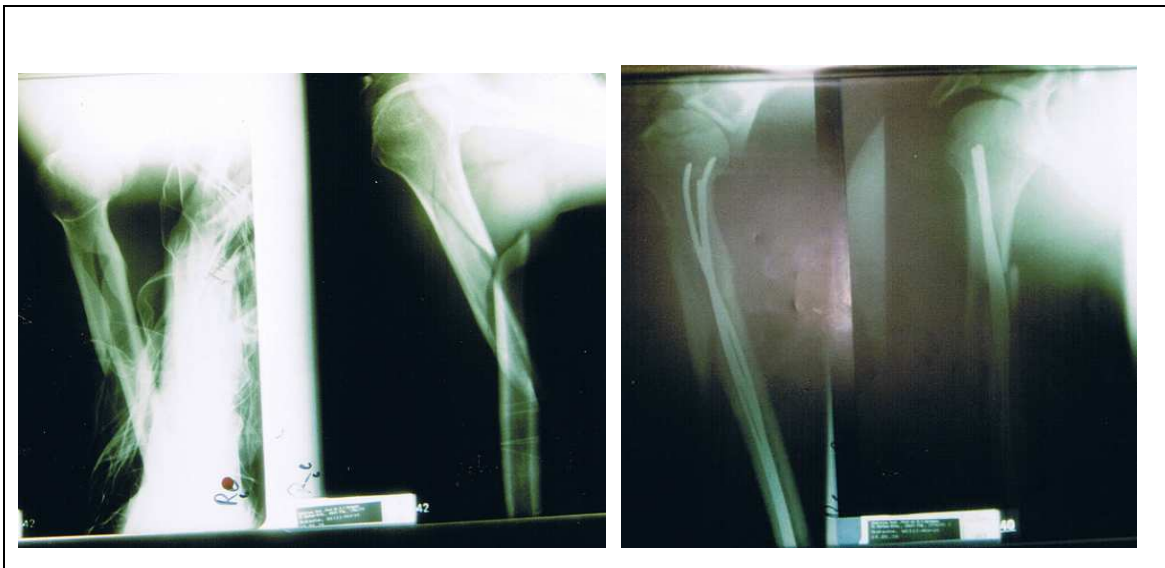


Abbildung 23a Unfallaufnahmen, b Aufnahmen postoperativ



Abbildung 23c Aufnahmen bei Nachuntersuchung 6 J und 3 Monate postoperativ

Bei der Nachuntersuchung gut sechs Jahre postoperativ klagte der Patient jedoch über seit ca. zweieinhalb Jahren bestehende, rezidivierende Schmerzen im Handgelenkbereich rechts, die in die Streck- und Radialseite des rechten Daumens einstrahlten. Die Fraktur war radiologisch ohne Achsfehlstellungsverhältnisse, jedoch mit einer kolbigen Auftreibung, knöchern konsolidiert (Abb. 23c). Anlässlich einer neurologischen Untersuchung konnte eine Radialisläsion im Oberarmbereich mit vorwiegend Sensibilitätsstörungen und teilweise in das Versorgungsgebiet des Nerven einstrahlenden Schmerzen gefunden werden. Paresen oder Atrophien waren nicht nachzuweisen, jedoch eine verlangsamte Nervenleitgeschwindigkeit über der betroffenen Stelle. Ursächlich war wahrscheinlich eine überschießende Kallusbildung im Bereich der ehemaligen Fraktur. Bei der klinischen Untersuchung war die Beweglichkeit seitengleich frei, es fand sich kein Druckschmerz im Bereich der Fraktur, lediglich Parästhesien an der Hautnarbe über dem Olekranon. Bei der klinischen Untersuchung konnten keine Parästhesien, Paresen, Muskelatrophien oder verminderte Muskeleigenreflexe gefunden werden, die grobe Kraft war jedoch auf der betroffenen Seite deutlich vermindert ($>1/3$ im Vergleich zur Gegenseite).



Abb. 24 seitengleiche Anteversion, Nackengriff und Elevation anlässlich der Nachuntersuchung

Aufgrund der ständigen, auch den Schlaf störenden Schmerzen und der neurologisch nachgewiesenen Läsion des N. radialis erzielte Herr G. trotz sehr guter Beweglichkeit und Funktion der betroffenen Seite nach unserem Bewertungsschlüssel nur ein „schlechtes“ Ergebnis. Der Patient selbst beurteilte das Ergebnis auch nur mit „befriedigend bis ausreichend“.

Fall 2:

Der 68-jährige Rentner K.-H. M. zog sich bei einem Sturz auf der Straße eine proximale Spiralfaktur des linken Oberarmschafts zu. Der Patient stellte sich am gleichen Tag in der Ambulanz des Markus-Krankenhauses vor und wurde zur operativen Vorbereitung stationär aufgenommen. Die Versorgung mit fünf Bündelnägeln erfolgte zwei Tage nach dem Unfallereignis. Beim Entfernen des Redonschlauches kam es zum Abriss und Verbleiben eines Stück Redons in der Wundhöhle. Bei der Wundrevision drei Tage postoperativ entleerte sich eine größere Menge putriden Sekretes aus dem Subcutanbereich. Der bakteriologische Abstrich ergab den Nachweis von *Staphylococcus aureus*, woraufhin eine hochdosierte Antibiotikatherapie mit Staphylex® (Flucloxacillin) eingeleitet wurde. Bis zur Besserung des Lokalbefundes und Rückgang der Entzündungsparameter konnte der Patient nur eingeschränkt an einer krankengymnastischen Übungsbehandlung teilnehmen. Zweieinhalb Wochen postoperativ konnte Herr M. mit noch liegenden Hautfäden bei guter Beweglichkeit des linken Armes in die ambulante Weiterbehandlung entlassen werden. Unter Fortführung einer oralen Antibiotikatherapie für eine weitere Woche kam es zu keinem weiteren Infekt. Drei Wochen postoperativ kam es zu einer Nagelwanderung nach proximal mit nachfolgender Einschränkung bei der Abduktion über 90°, sodass eine frühzeitige Materialentfernung drei Monate nach Primärversorgung durchgeführt werden musste. Aufgrund des verzögerten Beginns der Bewegungstherapie und der schmerzhaften Einschränkung der Bewegung durch die Nagelwanderung nach proximal war die Beweglichkeit der Schulter vor der Materialentfernung immer noch deutlich eingeschränkt. Nach einem dreitägigen komplikationslosen stationären Aufenthalt konnte der Patient bereits mit einer deutlichen Verbesserung des Bewegungsumfanges der Schulter entlassen werden. Der Abschluss der Behandlung erfolgte bei guter Beweglichkeit 4 Monate nach Unfallereignis. Seine sportlichen Aktivitäten konnte Herr M. 6 Monate postoperativ wieder aufnehmen.

Anlässlich der Nachuntersuchung gut anderthalb Jahre postoperativ fand sich eine ohne Fehlstellung knöchern konsolidierte Oberarmschaftfraktur links. Der Patient war beschwerdefrei, lediglich beim Heben von Gegenständen auf Überkopfhöhe klagte er über mäßige Schmerzen. Subjektiv und objektiv war die Kraftleistung vermindert (objektiv bis 1/3 weniger als auf der Gegenseite). Die Beweglichkeit des Schultergelenks im Vergleich zur Gegenseite war geringgradig eingeschränkt (um jeweils 10° bei Elevation, Adduktion, Ante-, Retroversion und Rotation), die Beweglichkeit im

Ellenbogengelenk war seitengleich frei, Schürzen- und Nackengriff waren beidseits möglich.

Nach unserem Bewertungsschlüssel erhielt der Patient mit 5 Punkten ein „gutes“ Nachuntersuchungsergebnis, er selber beurteilte die Behandlung mit „befriedigend“.

Fall 3:

Die 73-jährige Rentnerin I.G. stürzte im Urlaub in Italien und zog sich eine dislozierte Oberarmschaft-Spiralfraktur zu. Die Erstversorgung mit Gilchristverband erfolgte vor Ort. Zwei Tage nach Unfallereignis erfolgte die stationäre Aufnahme und noch am gleichen Tag die Versorgung der Fraktur mit vier Bündelnägeln. Der postoperative Verlauf war komplikationslos. Die Patientin klagte immer wieder über Schmerzen im Bereich des Armes und die Verbesserung der Beweglichkeit im Bereich des Schultergelenkes war auch nur sehr zögerlich, sodass die Übungsbehandlung mit einem CPM-(continuous passive motion)-Schulterbewegungsstuhl unterstützt wurde. Daraufhin kam es zu einer deutlichen Verbesserung des Bewegungsumfanges, die Patientin wurde erst vier Wochen nach Operation in die ambulante Weiterbehandlung entlassen. Acht Wochen postoperativ war die Fraktur knöchern konsolidiert. Die Patientin klagte weiterhin über elektrisierende Schmerzen im Bereich des Schulter- und Ellenbogengelenks und über Anschwellen der Hand. Bei V. a. ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (Morbus Sudeck) wurde eine Therapie mit Karil® (Calcitonin) s.c. eingeleitet. Es kam zu einer leichten Verbesserung der Symptomatik. Bei immer noch unvollständigem Faustschluss wurde die Behandlung zunächst 5 Monate postoperativ abgeschlossen.

Die Materialentfernung erfolgte 6 Monate postoperativ, der stationäre Verlauf war komplikationslos, bei Entlassung war die Beweglichkeit im Ellenbogengelenk endgradig eingeschränkt, der Faustschluss war jetzt wieder vollständig möglich.

Bei der Nachuntersuchung knapp zwei Jahre postoperativ gab die Patientin an, gelegentlich Schmerzen bei starker Belastung und Sport im Bereich des Ellenbogengelenks zu haben, eine Wetterfühligkeit war nicht vorhanden. Subjektiv sei der Arm genauso kräftig wie vorher, objektiv konnte eine Kraftminderung von kleiner 1/3 festgestellt werden. Schürzen- und Nackengriff waren beidseits möglich, die Beweglichkeit im Schulter- und Ellenbogengelenk war gut bei einer Differenz der Beweglichkeit im Ellenbogengelenk bei Extension von 20° und im Schultergelenk von bis zu

10° bei Abduktion, Retro- und Anteversion. Zusätzlich hatte die Patientin Taubheitsgefühle im Bereich des zweiten bis fünften Fingers und im Bereich der Hautnarbe am Olekranon.

Insgesamt erhielt die Patientin mit zwölf Punkten nach unserem Bewertungsschlüssel ein „schlechtes“ Ergebnis, Frau G. selbst beurteilte das Ergebnis mit „ausreichend“.

3.2. Auswertung der Nachuntersuchungsergebnisse

3.2.1. Schmerzsymptomatik

Subjektiv schmerzfrei waren 20 Patienten (66,7%), 7 Patienten klagten über Schmerzen bei starker Belastung (23,3%), 2 Patienten bei leichter Belastung (6,7%) und ein Patient klagte über Ruheschmerzen (3,3%) (Abb. 25). Eine sogenannte Wetterfühligkeit wurde von 11 Patienten (36,7%) angegeben. Ein lokaler Druckschmerz im Bereich des Humerusschaftes wurde bei der Nachuntersuchung bei 7 Patienten festgestellt (23,3%). Krepitationen konnten bei keinem Patienten nachgewiesen werden, Hypästhesien im Bereich der Narbe bei 3 Patienten (10%).

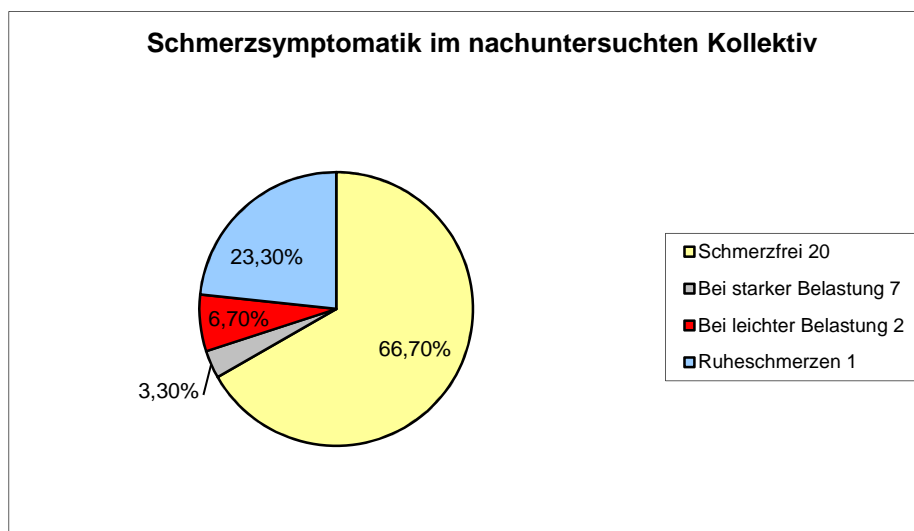


Abb. 25 Schmerzsymptomatik im nachuntersuchten Patientenkollektiv

3.2.2. Funktion

Eine subjektive Kraftminderung der betroffenen Extremität wurde von 10 Patienten (33,3%) angegeben.

Nach objektiver Kraftmessung hatten 16 Patienten seitengleiche Ergebnisse (53,3%), 3 Patienten eine größere Kraftentwicklung postoperativ (10%). Bei 10 Patienten (33,3%) konnte eine Differenz beider Arme zuungunsten der operierten Seite gefunden werden, davon bei 9 Patienten weniger als 1/3 und bei einem Patienten mehr als 1/3 Differenz zur Gegenseite. Bei einem Patienten konnte aufgrund einer Plexusparese des nicht betroffenen Armes keine beidseitige Messung durchgeführt werden, der Patient gab aber subjektiv keine Kraftminderung an und die Messung mit der Federwaage des betroffenen Armes war altersgemäß. Die Kraftdifferenz war in einem Fall durch einen reduzierten Oberarmumfang objektivierbar, die anderen Patienten hatten entweder seitengleiche Umfänge (22 Patienten) oder am betroffenen Arm eine Umfangsvermehrung (6 Patienten).

Die Funktionsgriffe (Nacken- und Schürzengriff) konnten von 28 Patienten (93,3%) durchgeführt werden. Eine Differenz bei der Prüfung des Bewegungsumfanges war bei 13 Patienten (43,3%) vorhanden, dabei hatten 3 Patienten (10%) sowohl eine Bewegungseinschränkung im Bereich des Ellenbogens als auch im Bereich der Schulter, bei 10 Patienten bestand eine isolierte Einschränkung der Beweglichkeit in der Schulter. Die Einschränkung der Schulterbeweglichkeit im Vergleich zur Gegenseite war bei 7 Patienten (23,3%) bis 10°, bei 3 Patienten (10%) bis 20° und bei 3 Patienten (10%) mehr als 20°, im Bereich des Ellenbogens ergab sich zweimal (6,7%) eine Differenz bis 10° und einmal (3,3%) eine Differenz bis 40°. Bei dem Patienten mit der Plexusparese des Gegenarmes konnte kein Vergleich zur Gegenseite ermittelt werden, die Beweglichkeit im ehemals frakturierten Arm war aber sowohl im Ellenbogen- als auch im Schultergelenk frei.

3.2.3. Stabilität

Bei allen Patienten (100%) konnte anlässlich der Nachuntersuchung eine klinische Stabilität im Bereich der ehemaligen Fraktur festgestellt werden.

3.2.4. Radiologische Veränderungen

Knöcherne Konsolidierung konnte bei allen 30 nachuntersuchten Patienten (100%) festgestellt werden. Pseudarthrosen, Osteitiden, Ossifikationen konnten nicht gefunden werden. Bei einem Patienten (3,3%) wurde eine vermehrte Arthrose im Bereich des

Schultergelenkes verifiziert, bei einem weiteren Patienten (3,3%) eine überschießende Kallusbildung.

Bei insgesamt 7 Patienten (23,3%) konnte eine radiologische Fehlstellung gemessen werden. Bei 3 Patienten (10%) wurde eine Fehlstellung in der a.-p. Projektion gefunden, diese wiederum war bei zwei Patienten 5°, bei einem Patienten bis 10°. Eine Fehlstellung in der seitlichen Projektion bis 5° konnte bei 3 Patienten (10%) gemessen werden und bei einem Patienten (3,3%) wurde sowohl in der a.-p. als auch in der seitlichen Projektion eine Achsabweichung von bis zu 10° nachgewiesen.

3.2.5. Narbenverhältnisse

Die meisten Narben waren zum Zeitpunkt der Untersuchung weiß und im Hautniveau, bei 5 Patienten (16,7%) waren die Narben 5mm breit und mehr, davon 4 mit hypertropher Narbenbildung. Diese wurden laut eigenem Bewertungsschlüssel mit schlecht beurteilt. Von den Patienten selbst beurteilte keiner das kosmetische Ergebnis als störend.

Die durchschnittliche Narbenbreite betrug 2,4 mm (Spannweite 1-8 mm). Ein Narbenkeloid war in keinem Fall aufgetreten.

3.2.6. Patientenurteil

Bei der eigenen Einschätzung des Behandlungsergebnisses vergaben jeweils 14 Patienten (46,7%) die Note „sehr gut“, 9 Patienten (30%) die Note „gut“. Fünf Patienten (16,7%) waren zufrieden und nur zwei Patienten (6,7%) beurteilten das Ergebnis als ausreichend (Abb. 26).

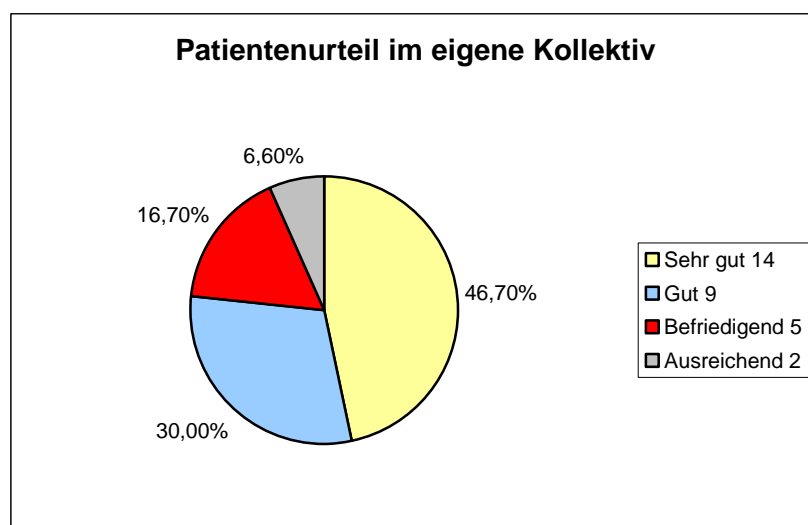


Abb. 26 Patientenurteil im eigenen Kollektiv

3.2.7. Gesamtbeurteilung der Untersuchungsergebnisse

Jedes Ergebnis wurde zunächst nach dem Bewertungsschlüssel nach *Kwasny* (64) (vgl. 2.3.4.1.) beurteilt. Im Anschluss daran wurden die Ergebnisse noch anhand der im Kapitel 2.3.4.2.1.-2.3.4.2.2. vorgestellten Scores beurteilt.

3.2.7.1. Bewertung nach dem in der Arbeit verwendeten Bewertungsschlüssel nach Kwasny

Unter Verwendung des Bewertungsschlüssels nach *Kwasny* (64) erreichten 20 der Patienten „sehr gute“ Ergebnisse (66,67%), 6 Patienten „gute“ Ergebnisse (20%). 2 Patienten (6,66%) erzielten „befriedigende“ und 2 Patienten „ausreichende“ Ergebnisse (6,66%) (Abb. 27). Die Durchschnittspunktzahl betrug 3,4 bei einer Spannweite von 0 bis 16 Punkten. Die mit ausreichend bewerteten Patienten stuften selbst auch subjektiv die Behandlung mit ausreichend ein.

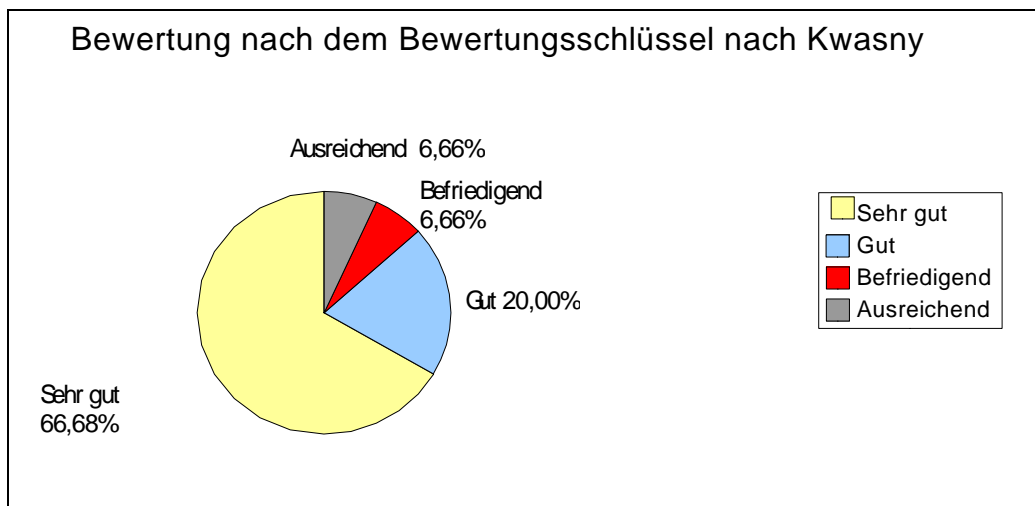


Abb. 27 Bewertung nach dem Bewertungsschlüssel nach Kwasny (64)

3.2.7.2. Bewertung nach dem Bewertungsschlüssel von Baranowski

Unter Anwendung dieses Scores (vgl. 2.3.4.2.1.) erhielten 13 unserer Patienten ein sehr gutes (43,3%) und 12 ein gutes Ergebnis (40%), 3 ein befriedigendes (10%) und 2 ein ausreichendes Ergebnis (6,7%).

Beim Vergleich von den Ergebnissen der Originalarbeit von *Baranowski* (6) mit unseren Ergebnissen sind die von Baranowski (Versorgung mit einer Bündelnagelung) erzielten Ergebnisse besser (Abb. 28).

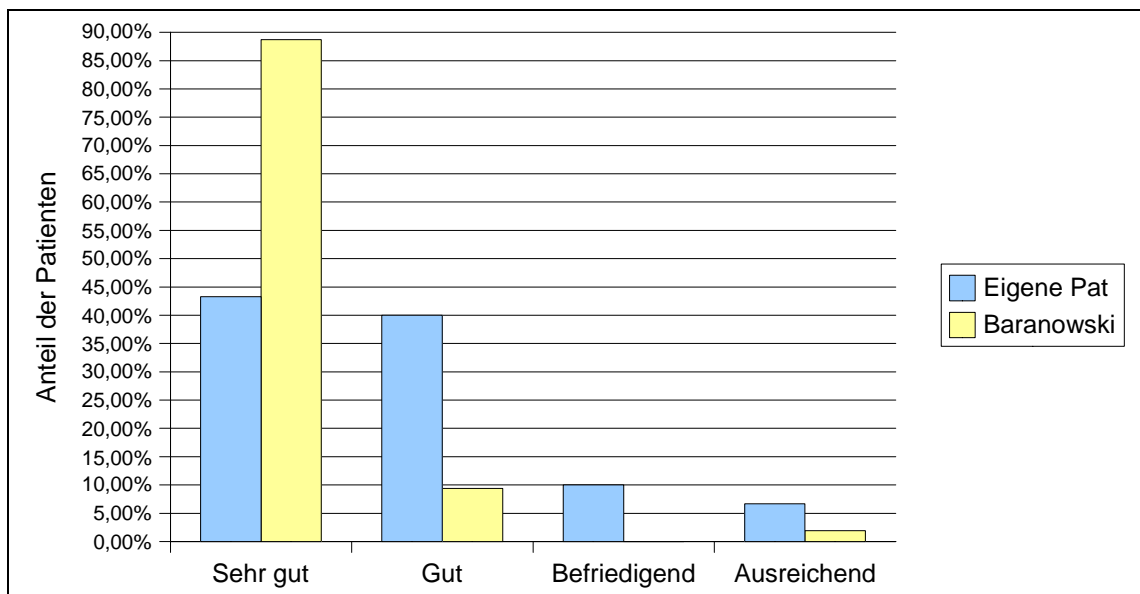


Abb. 28 Gesamtbewertung des nachuntersuchten Patientenkollektives nach dem Bewertungsschlüssel von Baranowski (6) und Vergleich mit Ergebnissen seiner Studie

3.2.7.3. Bewertung nach dem Bewertungsschlüssel von Wasmer

Bei Berücksichtigung dieses Scores (vgl. 2.3.4.2.2.) hätten 13 Patienten ein sehr gutes (43,3%), 12 ein gutes (40%), 3 ein befriedigendes (10%) und 2 ein ausreichendes Ergebnis (6,7%) erzielt.

Im Vergleich mit der Originalarbeit von *Wasmer* (125) (Konservative Therapie nach Sarmiento) sind unsere Ergebnisse deutlich besser (Abb. 29).

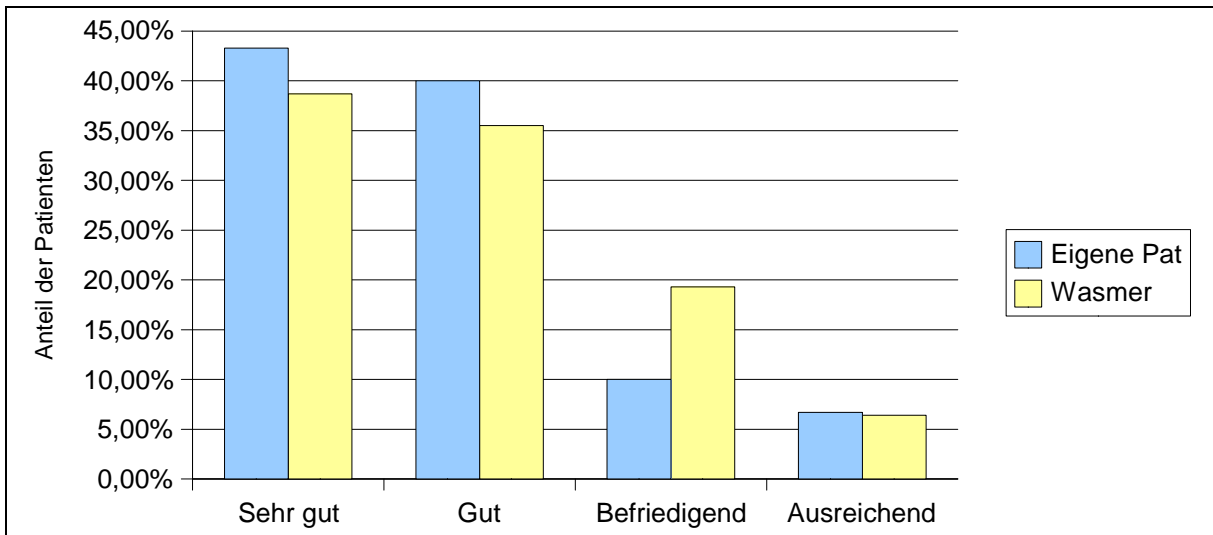


Abb. 29 Gesamtbewertung des nachuntersuchten Patientenkollektives nach dem Bewertungsschlüssel von Wasmer (125) und Vergleich mit den Ergebnissen seiner Studie

4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das Behandlungskonzept der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses zur Versorgung von Oberarmschaftbrüchen mittels einer Bündelnagelung zu überprüfen.

Im Markus-Krankenhaus wurde im Untersuchungszeitraum (Januar 1990 bis Oktober 2000) jede Oberarmschaftfraktur im 2. bis 4. Sechstel mittels einer Bündelnagelung versorgt, mit Ausnahme von offenen Frakturen, die mit einer Plattenosteosynthese oder einem Fixateur externe stabilisiert wurden. Eine klassische konservative Therapie bei den genannten Indikationen wie z.B. mit dem Sarmiento-Brace wurde nicht durchgeführt. Somit muss die Methode nicht nur mit anderen operativen Verfahren verglichen werden, sondern auch mit den Ergebnissen der konservativen Behandlung.

Es erfolgte eine retrospektive Untersuchung, alle nachfolgenden Angaben beziehen sich nur auf die vollständig nachuntersuchten Patienten. Dabei sei anzumerken, dass von den 91 in dem o.g. Zeitraum operierten Patienten nur 30 Patienten nachuntersucht werden konnten (Recovery von 31,6%), sodass die Zahlen bei nur niedriger Nachuntersuchungsrate auch dementsprechend zu bewerten sind. Diese niedrige Rate lag sicher teilweise an der Tatsache, dass retrospektiv zur Nachuntersuchung einbestellt wurde, und auch an dem hohen Durchschnittsalter der Patienten, die zum Nachuntersuchungszeitpunkt teilweise schon verstorben oder zu krank waren, um zu kommen.

Beim Vergleich der **Altersverteilung** und der **Unfallursachen** mit den Angaben aus der Literatur fällt auf, dass unsere Patienten sowohl in Bezug auf die Altersverteilung als auch die Unfallursachen aus dem Rahmen fallen. Unser Altersdurchschnitt von 66,2 Jahren lag deutlich über dem der anderen Kliniken: 41 Jahre (112), 43,5 Jahre (64), 30,1 Jahre (6), 40,9 Jahre (95). Auch der Alterdurchschnitt bei Sarmiento mit 36 Jahren (101) war deutlich niedriger. Dies wird zum Teil durch die Unfallursachen erklärt, die bei unseren Patienten überwiegend in Stürzen im häuslichen Bereich und auf der Straße (83,4%) lagen mit nur einem geringen Anteil an Verkehrsunfällen (13,3%), während in anderen Publikationen die Verkehrsunfälle überwogen (50-61,5%) (6,95,112). Sicher kommt hier auch den demographischen Veränderungen in unserem Land mit einem zunehmenden Anteil an älteren Patienten eine gewisse Bedeutung zu. Außerdem spielt

wohl auch das Einzugsgebiet in einer Großstadt mit überwiegend älteren Patienten aus den an die Klinik grenzenden Stadtvierteln (einfache Stürze) und weniger jüngeren Patienten (schwere Verkehrsunfälle) eine Rolle.

Früher hatte man es eher mit polytraumatisierten jüngeren Patienten mit Hochgeschwindigkeits-Trauma (Verkehrsunfall) zu tun, heute sind es eher ältere Patienten mit Niedergeschwindigkeits-Trauma (häuslicher Sturz) als Einzelverletzung bei osteoporotischen Knochen (97). Die Arbeiten über Oberarmschaftfrakturen aus den letzten Jahren zeigen eine ähnliche Entwicklung. Viele Autoren sprechen inzwischen schon von einer zweigipfligen Altersverteilung der Verletzung (40,106) mit einem ersten Gipfel im 3. Lebensjahrzehnt, dort v.a. Männer mit mittleren bis schweren Traumata, und dem zweiten, größeren Gipfel im 7. Lebensjahrzehnt, hier v.a. Frauen mit einfachen Stürzen (36,73). Im nachuntersuchten Kollektiv überwiegt deutlich der zweite Gipfel, d.h. es wurden überwiegend ältere Patienten versorgt, 24 Patienten von 30 waren älter als 60 Jahre (80%), davon 6 älter als 80 Jahre, nur 3 Patienten waren jünger als 40 Jahre. Bei den älteren Patienten lag die oberste Priorität in der schnellen Mobilisation und dem Erhalt der selbständigen häuslichen Versorgung. Dieses versuchten wir durch die möglichst baldige operative Versorgung zu erreichen - mehr als 2/3 der Patienten wurden innerhalb der ersten zwei Tage nach Unfall operiert. Die anderen Patienten konnten entweder wegen vorbestehender internistischer Begleiterkrankungen oder aufgrund eines Verfahrenswechsels von konservativ anbehandelten Frakturen erst zeitverzögert zwischen 4 und 7 Tagen nach Unfall operiert werden.

Die initiale Behandlung bei der konservativen Therapie nach *Sarmiento* (100) besteht zunächst in der Ruhigstellung in einem Gilchrist-Verband oder einer Oberarmgipsschiene für 8-10 Tage. Bei der Operation hingegen kann direkt postoperativ mit einer frühfunktionellen Bewegungstherapie begonnen werden, da der Arm nicht fixiert ist und somit auch vom Patienten im täglichen Leben benutzt werden kann. Die konservative Behandlung erfordert ein klares Konzept und ein hohes Maß an Überwachung, die im deutschen Gesundheitssystem ambulant am Krankenhaus oft nicht durchführbar ist und auch von niedergelassenen Kollegen nicht immer gewährleistet werden kann. Sie setzt außerdem ein gewisses Maß an Mobilität und Muskelkraft voraus, da in der Initialphase durch Schwerkraft, die nur am aufrechten Oberkörper wirken kann (bei Gipsbehandlung durch das Eigengewicht des Gipses verstärkt), und Muskelzug (durch aktive Anspannung des M. Biceps nähern sich die Frakturrenden

einander an (106)) die Frakturfragmente eingerichtet werden. *Schittko* (106) geht sogar noch weiter und verlangt als Voraussetzung für eine konservative Therapie die Annäherung der Frakturrenden bei angespannter Bicepsmuskulatur unter Bildwandlerkontrolle. Voraussetzung dafür ist die weitgehende Schmerzfreiheit des Patienten. Außerdem können sich vor allem ältere Patienten zu Hause mit einem Oberarmgips nur schlecht versorgen und sind damit auf fremde Hilfe angewiesen. Diese Umstände schränken die Voraussetzungen für eine konservative Therapie deutlich ein, deshalb sollten Patienten für eine konservative Therapie mindestens genauso sorgfältig ausgewählt werden wie solche für eine operative Therapie. *Sarmientos* Ergebnisse von 620 Patienten aus den Jahren 1978-1990 wurden bei Patienten mit einem sehr niedrigen Durchschnittsalter (36 Jahre) erzielt und setzten auch die Fähigkeit zur aktiven Muskelarbeit voraus, damit sich die Fraktur nach dem Unfall wieder achsengerecht einstellen konnte (101). Auch sollten Patienten mit sehr dünnem oder sehr dickem Weichteilmantel im Bereich des Oberarms nicht mit einem Brace versorgt werden.

Empfehlungen für die **Voraussetzungen zur konservativen Behandlung** bei Oberarm-schaftfrakturen sind im Folgenden wiedergegeben (56,106):

- junge Patienten mit entsprechendem Muskelmantel und geringen Schmerzen
- engmaschige ambulante Betreuung des Patienten und klares Konzept
- physiotherapeutische Behandlung zur Vermeidung von Bewegungseinschränkung
- ausreichende Schmerzmedikation
- Hinweis auf die lange Behandlungszeit und Aufklärung
- Wunsch des Patienten
- exzellente Compliance

Auch die **Indikation zur operativen Versorgung** hat sich im Laufe der Jahre gewandelt:

Aus der Literatur geht hervor, dass die Oberarmschaftfraktur lange Zeit eine Domäne der konservativen Therapie war und nur bei den absoluten Operationsindikationen (vgl. 1.3.5.) eine operative Versorgung angestrebt wurde. Die konservative Therapie mit dem Sarmiento-Brace stellte bis in die 90er Jahre des vorigen Jahrhunderts, nicht zuletzt aufgrund der niedrigen Komplikationsrate, eine Behandlungsalternative zur operativen Versorgung einer Oberarmschaftfraktur dar. Aber bereits in der Sammelstudie der AO von 1991 wurden schon 50% der Oberarmschaftfrakturen operativ versorgt (84).

Manche Autoren sprechen somit von einem „Paradigmenwechsel in der Behandlung der Oberarmchaftfrakturen zum operativen Verfahren hin“ (106). Der früher in der Literatur angegebene hohe Anteil an konservativ versorgten Frakturen wird in neuer Zeit in den meisten Kliniken nicht mehr erreicht (56). Dieser Trend zur Operation wurde sicher durch die Entwicklung neuer, komplikationsärmerer, speziell für den Humerus entwickelter Operationsverfahren begünstigt (11). Außerdem verlangt der demographische Wandel mit der zunehmenden Überalterung unserer Gesellschaft eine Anpassung der Therapieformen. Aber auch der Wunsch junger Patienten, in der heutigen Zeit schnell wieder ihre Mobilität und Selbständigkeit zu erlangen, verstärkt den Trend zur Operation. Ansprüche an operative Verfahren sind niedrige Komplikationsrate, schonendes Operationsverfahren, schnelle Mobilität und Übungsstabilität bei hohem Patientenkomfort.

Anfang der 70er Jahre hatte sich die Plattenosteosynthese durch das Erreichen einer optimalen Stabilität und die Möglichkeit der frühfunktionellen Nachbehandlung als Methode der Wahl bei operativer Versorgung etabliert. Dafür musste man aber hohe Komplikationsraten (Implantatlockerung, Pseudarthrose, Infektionen, Nervenschädigungen) in Kauf nehmen. Die intramedulläre Osteosynthese mit dem Küntscher-Marknagel ohne Verriegelung wurde wegen fehlender Rotationsstabilität nicht sehr häufig angewandt. 1961 wurde von *Hackethal* die Bündelnagelung entwickelt, die durch Aufspreizen der Nägel im metaphysären Bereich eine Rotationsstabilität gewährleisten konnte. Die Renaissance der starren Marknagelung begann mit der Entwicklung der Verriegelungsnagelung (1985 von *Seidel* entwickelt) und nachfolgend anderen Verfahren, wie z.B. der UHN, Targon-H-Nagel, T2-Humerusnagel.

Mit den neuen intramedullären Techniken, die die ursprünglichen, starren Marknägel abgelöst haben und die sich speziell den besonderen Bedürfnissen der Markhöhle des Humerus (vgl. 1.2.1. – Anatomie) angepasst haben, wurden viele der anfänglichen Probleme, bedingt durch die besondere Form der Humerusmarkhöhle und der mangelnden Rotationsstabilität, gelöst. Auch für die proximalen Humerusfrakturen wurden inzwischen spezielle intramedulläre Implantate entwickelt, wie z.B. der Targon-PH-Nagel oder der PHN. Eine gute Stabilität im osteoporotischen Knochen ist hiermit leichter zu erreichen als mit der konventionellen Plattenosteosynthese, die mindestens 6 Kortikales pro Frakturseite zur Stabilität benötigt. Damit wurde eine sehr gute Alternative zur Plattenosteosynthese und konservativen Therapie geschaffen. Auch

heute noch gute Indikationen für die Plattenosteosynthese sind nach wie vor Pseudarthrosenversorgung, Defektüberbrückung, primäre Radialisparese oder Frakturen mit Verdacht auf Weichteilinterponat. Als Ausnahmeindikation für die Versorgung von Frakturen des osteoporotischen Knochens könnte u.U. die winkelstabile Platte zur Anwendung kommen, die ursprünglich aber für proximale Humerusfrakturen entwickelt wurde. Durch die rigide Verbindung zwischen Implantat und Schrauben kommt es zu einer Lastverteilung zwischen diesen beiden Komponenten und somit ist ein Abkippen der Schrauben in Varus- oder Valgusfehlstellung schwieriger möglich (10,71).

Mit den neuen intramedullären Verfahren stellt sich vor allem die Frage, ob die Nagelung retrograd oder antegrad ausgeführt wird: retrograd mit der Gefahr von Frakturen bzw. Fissuren an der Einschlagstelle und Perforieren der Nägel durch die Humeruskopf kortikalis und antegrad mit der Gefahr des postoperativen Impingement-Syndroms, Schädigung des N. axillaris (13) und/oder M. deltoideus und Knorpelschäden am Humeruskopf durch Aufbohren der Markhöhle. Die Komplikationsraten sind, wie aus den Tabellen hervorgeht (Abb. 30-33), stark vom jeweiligen Verfahren abhängig, aber auch nicht unwesentlich vom Operateur und dessen Erfahrung mit dem jeweiligen Verfahren (112). Allerdings zeigte eine 2010 durchgeführte Meta-Analyse (mit 4 Arbeiten und insgesamt 203 Patienten) jedoch hinsichtlich der Komplikationsrate von Plattenosteosynthese und intramedullären Verfahren zur Behandlung von Humerusschaftfrakturen keine signifikanten statistischen Unterschiede bezüglich der Gesamtkomplikationsrate (39).

In der heutigen Zeit sind sicher auch die unterschiedlichen Kosten der Implantate ein Entscheidungsfaktor bei der Wahl des operativen Vorgehens.

Die **Frakturlokalisierung** des untersuchten Patientenkollektivs stimmt in etwa mit der Datenlage anderer Kliniken überein (106,121). Diese lag mit 45,8% zum größten Teil im mittleren Drittel und mit 33,3% im mittleren Drittel mit Übergang zum proximalen Drittel. Das proximale Drittel mit 16,7% und der Übergang vom mittleren Drittel zum distalen Drittel mit 4,2% waren am wenigsten vertreten.

Bei den nachuntersuchten Fällen handelte es sich nach der **AO-Klassifikation** zu 63,3% um Typ-B-Frakturen, zu 30% um Typ-A-Frakturen und zu 6,7% um Typ-C-Frakturen. In anderen Kliniken überwogen die Typ-A-Frakturen mit 43-68%, Typ-B-Frakturen waren mit 32-40,4% und Typ-C mit 2-16,2% vertreten (30,64,97,106).

Zur Frakturstabilisierung wurden bei uns im Schnitt 3,7 **Nägel** (Rush-Pins) verwendet (Spanne 2-5), bei 7 Frakturen wurden zusätzlich Verkeilungsnägel benutzt (23,3%). Bei *Beck* (8) und *Brug* (19) waren es durchschnittlich 4,6 Nägel (Spanne 2-10) und bei Schopper (108) durchschnittlich 6 Nägel (Spanne 3-11). Laut *Hackethal* sollten mindestens 3 Nägel durch die Markraumtaille eingebracht werden, um durch die Taillenschnürung eine Stabilität zu erlangen, im Mittel würden 4-5 Nägel benötigt (36). Dies ist uns bis auf zwei Fälle, bei denen nur 2 Nägel eingebracht werden konnten, immer gelungen. Bei diesen Patienten handelte es sich um zwei sehr junge Patienten, bei denen aufgrund der sehr engen Markhöhle nur das Einbringen von 2 Nägeln möglich war. Es konnten jedoch jeweils zwei Nägel mit dem größeren Durchmesser (3,1 mm) implantiert werden. Bei einem der beiden Patienten wurde zusätzlich ein Verkeilungsnagel verwendet. Das Prinzip der Taillenschnürung war aber durch die enge Markhöhle und die Verwendung der dickeren Nägel trotzdem erfüllt. Die Frakturen waren postoperativ sofort übungstabil und heilten achsengerecht aus. Zum Erreichen der Stabilität spielt neben der Anzahl der verwendeten Nägel selbstverständlich auch der Durchmesser des einzelnen Nagels eine wesentliche Rolle. Das Aufbohren bis zum Isthmus der Markhöhle wäre eine weitere Möglichkeit, die Nagelanzahl erhöhen zu können.

Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des eigenen Verfahrens kommt der knöchernen Frakturkonsolidierung und dem Auftreten von intra- und postoperativen Komplikationen im Vergleich mit anderen Publikationen eine besondere Bedeutung zu.

Bei 100% der nachuntersuchten Patienten konnte eine **knöcherne Konsolidierung** gefunden werden. Diese wurde im Schnitt nach 6,8 Wochen erreicht (Spanne 6-10 Wochen). In der Literatur lag die durchschnittliche Konsolidierungszeit bei der Bündelnagelung (5,6,8,19,20,41,73,108) bei 6-10 Wochen, bei anderen intramedullären Verfahren (2,12,30,38,51,67,72,80,96,97,114,122,123) bei 7-14 Wo, bei dem konservativen Verfahren nach *Sarmiento* (40,50,93,100,101,1250,126) bei 6-10 Wochen, bei der Plattenosteosynthese (64,85,95,112,116) bei 9-16 Wochen. Somit liegt unsere durchschnittliche Konsolidierungszeit bezüglich dieser Literaturangaben in einer vergleichbaren Größenordnung.

Die **radiologisch nachgewiesenen Fehlstellungen** bei insgesamt 7 Patienten betragen in allen Projektionen maximal 10° Achsabweichung. Diese war nur radiologisch und nicht klinisch nachweisbar und hatte somit auch keine funktionelle oder klinische Konsequenz. Hier gilt als allgemein anerkannt, dass Verschiebungen bis zu einer Schaftbreite, Achsabweichungen bis zu 20° und Rotationsfehler bis zu 10° problemlos toleriert werden können (vgl. 1.3.4.). Rotationsfehler konnten keine gefunden werden. Bei dem Verfahren nach *Sarmiento* bestand im Mittel bei 19, % eine radiologische Fehlstellung von mehr als 10° (Spanne 8-33%) (63,93,100,101,125).

Im Folgenden haben wir unsere und die in der Literatur bei den einzelnen Verfahren angegebenen **Komplikationsraten** miteinander verglichen. Dabei haben wir uns auf den Vergleich mit den gängigen operativen Verfahren (Bündelnagelung, andere intramedulläre Verfahren und Plattenosteosynthese) und der konservativen Therapie nach *Sarmiento* beschränkt.

Die **Pseudarthrosenrate** lag bei dem nachuntersuchten Patientenkollektiv bei 0%, zu einer **verzögerten Konsolidierung** war es ebenfalls nicht gekommen. In der Literatur liegt die Pseudarthrosenrate bei der Bündelnagelung durchschnittlich bei 1,25% (0-3,8%) (5,6,8,19,20,41,73,108), bei anderen intramedullären Verfahren bei durchschnittlich 3,1% (große Spannweite von 0-12%) (2,12,30,38,51,67,72,80,96,97,114,122,123), bei der Plattenosteosynthese bei durchschnittlich 1,7% (0-6,8%) (64,85,95,112,116) und bei dem konservativen Verfahren nach *Sarmiento* bei durchschnittlich 1,2% (0-5,3%) (40,50,93,100,101,125,126). Demzufolge lag die Pseudarthrosenrate in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses deutlich unter dem Durchschnitt sämtlicher operativer Verfahren und des konservativen Verfahrens nach *Sarmiento*. Es sei aber erneut einschränkend hinzuzufügen, dass hier nur ein kleines Patientenkollektiv untersucht werden konnte, d.h. lediglich 31,6% aller operierten Patienten. Verglichen mit Frakturen anderer Regionen weisen die Oberarmschaftfrakturen insgesamt eine relativ geringe Pseudarthrosenrate auf, wohl bedingt durch die „Gutmütigkeit“ dieser von einem kräftigen Weichteilmantel umgebenden Frakturen.

Postoperative **Osteitiden und tiefe Infekte** konnten im nachuntersuchten Patientenkollektiv nicht gefunden werden (0%). Damit entsprachen unsere Ergebnisse diesbezüglich denen der konservativen Methode nach *Sarmiento* (Infektionsrisiko 0%).

Gegenüber der in der Literatur durchschnittlichen angegebenen Infektionsrate bei Bündelnagelung und anderen Operationsverfahren lagen wir deutlich unter dem Schnitt. Tiefe Infektionen und Osteitiden wurden bei Bündelnagelungen in anderen Publikationen in 0-0,77% (5,6,8,19,20,41,73,108), bei anderen intramedullären Operationsverfahren in 0-6,4% (2,12,30,38,51,67,72,80,96,97,114,122,123) und bei Plattenosteosynthesen in 0-9,3% (64,85,95,112,116) der Fälle beschrieben. Bei den anderen intramedullären Verfahren ergaben sich je nach Methode große Schwankungen - mit einer geringen Infektionsrate von 0% bei dem UHN und der relativ hohen Zahl an tiefen Infektionen von bis zu 6,4% bei dem Verriegelungsmarknagel nach *Seidel*. Insgesamt zeigt sich aber eine Überlegenheit der geschlossenen Operationsverfahren wie der Bündelnagelung und einiger der neueren intramedullären Methoden gegenüber dem offenen Verfahren der Plattenosteosynthese.

Oberflächliche Weichteilinfekte traten nur einmal auf (3.3%). Dieser Infekt war durch einen unbemerkten Abriss eines Stücks der Redondrainage beim Entfernen verursacht worden. Nach Wundrevision kam es zu einer folgenlosen Ausheilung und der Patient hat zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung insgesamt ein gutes funktionelles Ergebnis erzielt, war aber trotzdem subjektiv unzufrieden mit dem Resultat. Dies lag sicher zum Teil an der Notwendigkeit einer Re-Operation zur Wundrevision, der damit verbundenen verzögerten frühfunktionellen Nachbehandlung und vielleicht auch an der verminderten Belastbarkeit/Kraftentwicklung des Armes postoperativ.

Im Vergleich mit den anderen operativen Verfahren liegen wir mit der Rate an oberflächlichen Infektionen nicht über der anderer Publikationen (Bündelnagelung bis 3,6 %, andere intramedulläre Verfahren bis 3,5%, Plattenosteosynthese bis 4,5%). Bei dem Verfahren nach *Sarmiento* müsste man eigentlich die Rate an Hautinfektionen und Hautmazerationen, die durch das dauerhafte Tragen eines Braces ausgelöst wurden, auch als „oberflächliche Infektion“ werten. Diese Rate an Hautinfektionen liegt teilweise bei bis zu 24% (Spanne 2,6-24,4%) (40,50,93,100,101,125,126) und kann im Verlauf das Verfahren nach *Sarmiento* stark beeinträchtigen, weil sich durch mangelnde Ruhigstellung bei häufiger Abnahme des Braces Pseudarthrosen oder eine Verzögerung der Knochenbruchheilung (bis zu 9,7%) (125) ergeben können, was sogar einen Verfahrenswechsel hin zu einem operativen Verfahren nötig machen könnte. Zieht man dies mit in Betracht, so liegt auch hier die Infektionsrate unserer Klinik nicht über der der konservativen Verfahren, sondern eher darunter.

Die Rate an **postoperativen Radialisläsionen** lag bei den nachuntersuchten Patienten bei 0%. Diese niedrige Rate ist sicher bedingt durch die schonende geschlossene Reposition, die geringe Weichteiltraumatisierung und fehlende Frakturfreilegung während der Operation. Die in der Literatur beschriebene anfänglich hohe Rate an sekundären Radialispareesen bei Bündelnagelungen war bedingt durch die Reposition mit einem Viermastkran (3-4%) (5,19). Nach dem Verzicht auf diese Art von Reposition konnte die Rate an sekundären Radialispareesen bei Bündelnagelung gegen Null gesenkt werden (5,6,41,74). Die anderen Operationsverfahren zeigten eine deutlich höhere Rate an sekundären Radialispareesen, angeführt von der Plattenosteosynthese (0-12,8%) (64,85,95,112,116) über Seidel-Marknagel (0-6,4%) (51,67,114,122,123) und UHN (0-3,9%) (12,30,97,123) bis hin zu anderen intramedullären Verfahren (0-2,6%) (2,38,72,80,96). Hier zeigt sich die Überlegenheit der geschlossenen Versorgung einer Oberarmschaftfraktur durch intramedulläre Verfahren gegenüber der Versorgung mit der Plattenosteosynthese. Die Bündelnagelung und auch neuere intramedulläre Verfahren, wie z.B. der UHN, sind der konservativen Therapie hinsichtlich der Komplikationsrate an sekundären Radialisläsionen durchaus gleichzusetzen.

Bei zwei Patienten (6,6%) kam es zu **neurologischen Komplikationen**, die auch das Endergebnis verschlechterten. Bei einem Patienten war 3,5 Jahre postoperativ offenbar durch vermehrte Kallusbildung eine Störung des sensiblen Astes des N. radialis aufgetreten. Diese Störung hatte aber nach Abschluss der Behandlung bzw. Materialentfernung 16 Monate postoperativ noch nicht bestanden und war erst im weiteren Verlauf aufgetreten. Bei einer anderen Patientin war das Endergebnis durch die Entwicklung eines komplexen regionalen Schmerzsyndroms (Morbus Sudeck) verschlechtert worden. Diese Störungen müssen allerdings nicht unmittelbar mit der Operation in Verbindung gebracht werden, da eine durch vermehrte Kallusbildung aufgetretene Störung des sensiblen Astes des N. radialis auch nach konservativer Behandlung auftreten kann; ebenso kann ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (Morbus Sudeck) allein durch das Trauma der Fraktur ausgelöst werden und muss nicht unbedingt in mittelbarem Zusammenhang mit der Operation stehen.

Bei dem einen Patienten mit primärer Radialisparese bei langstreckiger Spiralfaktur, die nach operativer Freilegung und Revision des Nervs mit einer Bündelnagelung

versorgt worden war, kam es im Verlauf zu einer vollständigen Erholung der Nervenläsion. Diese war zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nicht mehr nachweisbar.

Die höchste Komplikationsrate bei der Bündelnagelung im nachuntersuchten Patientenkollektiv ergab sich durch die **Lokomotion**, d.h. das Heraustreten der Nägel aus dem Einschlagfenster und die **Perforation der Bündelnägel** am Humeruskopf mit jeweils 4 Patienten (13,3%).

Da wir nur aufsteigende Bündelnagelungen durchgeführt haben, fand die **Lokomotion** nur im Bereich des Ellenbogengelenkes statt. Mit 13,3% liegen wir über den Angaben der Literatur (1-7,7%, durchschnittlich 3,5%) (siehe auch Abb. 31). Die überdurchschnittliche Prozentzahl mag daran liegen, dass wir in den wenigsten Fällen Verkeilungsnägel (von insgesamt 30 nachuntersuchten Patienten nur bei 7, also insgesamt in 23,3% der Fälle) benutzten. Von den vier betroffenen Patienten hatten drei intraoperativ keine Verkeilungsnägel erhalten, bei dem 4. Patienten kam es zur Lokomotion des Verkeilungsnagels. Bei allen Patienten hatte es aber keine klinische Konsequenz, da weder eine vorzeitige Materialentfernung erfolgen musste, noch das Gesamtergebnis dadurch schlechter wurde. Alle vier Patienten hatten eine gute bis sehr gute Gesamtbewertung. Bei zwei Patienten war sogar zum Datum der Nachuntersuchung (19 u. 36 Monate postoperativ) noch keine Materialentfernung erfolgt, sicherlich auch durch das hohe Alter der Patienten bedingt (84 und 85 Jahre bei Unfall). Die Rate an Lokomotionen könnte man wahrscheinlich durch regelhaftes Einbringen von Verkeilungsnägeln deutlich senken. Aus Sorge vor Schaft- bzw. Knochenfenstersprengungen an der Einschlagstelle sollte dies aber nur dort geschehen, wo es auch ohne großen Kraftaufwand möglich ist. Auch kann durch die Lokomotion die Ellenbogenbeweglichkeit, hier v.a. die Streckung, behindert werden, obgleich wir eine derartige Beeinträchtigung nicht beobachtet haben.

Eine gleich hohe Komplikationsrate (13,3%) sahen wir bei der **Perforation der Bündelnägel** im Bereich des Humeruskopfes. Dies ist allerdings nicht durch Lokomotion bedingt, sondern durch das Perforieren der Bündelnägel durch die Kalotte des Humeruskopfes im Schnitt 3-5 Wochen postoperativ infolge Fraktursinterung. Bei der Durchsicht der Literatur finden sich kaum Angaben zu dieser Komplikation. Dies liegt zum Teil daran, dass viele der Autoren eher die absteigende Nagelung bevor-

zugten (19,20,41). Häufig fehlen sogar die Angaben ganz, von welcher Stelle aus genagelt wurde. Wir führten grundsätzlich aufsteigende Nagelungen von der Fossa olecrani aus durch, sicherlich auch bedingt durch unseren hohen Anteil an relativ weit nach proximal reichenden Frakturen.

In den Arbeiten von *Meibert* (73) und *Schopper* (108) wurden Angaben über die Häufigkeit von Perforation der Bündelnägel im Bereich des Humeruskopfes gemacht. Dort war allerdings die Häufigkeit mit 7,8% und 8% niedriger als in unserem Patientenkollektiv. Dies mag an unserem erweiterten Indikationsspektrum liegen, da wir auch noch Frakturen, die bis in den Bereich des Collum chirurgicum des Humerus reichten, teilweise mit Ausstrahlung in den Humeruskopf, mit einer Bündelnagelung versorgten. Von den vier Patienten mit Perforation der Nägel hatten alle eine Spiralfaktur, die bis in das 2. Sechstel und teilweise mit Fissuren bis in den Humeruskopf reichte. Sicherlich begünstigte diese insgesamt instabile Situation das Sintern der Fraktur und damit das Austreten der Nägel aus der Kopfkortikalis. Intra- und unmittelbar postoperativ hatten alle Nägel ausnahmslos innerhalb des Humeruskopfes gelegen. Außerdem lag der Altersdurchschnitt unserer Patienten deutlich über dem anderer Kliniken. Demzufolge ist von einem vermehrten Vorliegen eines osteoporotischen Knochens auszugehen, der das Perforieren der Bündelnägel begünstigte. Als Reaktion auf dieses Ergebnis haben wir die Indikation zur Versorgung von weit nach proximal ausstrahlenden Frakturen enger gestellt und auf eine Versorgung mit der Bündelnagelung verzichtet. Andererseits gibt es bei langen Spiralbrüchen mit Einstrahlung in den Humeruskopfbereich wenig Alternativen: Eine Osteosynthese mit einer langen winkelstabilen Platte würde einen sehr großen Operationszugang mit hoher Weichteiltraumatisierung und Gefahr der Läsion des N. radialis mit sich bringen, eine absteigende Nagelung ist je nach Frakturlage auch nicht immer möglich. Die konservative Therapie nach *Sarmiento* ist auch bei weit nach proximal reichenden Frakturen nur bedingt geeignet (beste Indikation vom 2. bis 4. Sechstel), da die Manschette proximal bis nur bis 2 1/2 cm unterhalb der Axilla reicht und distal 1 1/2 cm oberhalb des Epikondylus ulnaris endet. Auch eine Gipsschiene ist bei kombinierten proximalen und Schaftfrakturen des Humerus schlecht möglich. Eine mögliche Alternative bieten eventuell speziell erweiterte Verriegelungsmarknagelsysteme, welche auch für die proximale Humerusfraktur konzipiert wurden z.B. Targon-H/Targon PH-Nagel, UHN mit winkelstabiler Spiralklingenverriegelung, Expert Humeral Nail, T2-

Nagel (10). Aber nach wie vor gibt es keinen goldenen Standard in der Behandlung von kombiniert diaphysären und proximal metaphysären Frakturen des Humerus (10,71). Die Versorgung wird durch die deutlich erhöhte Frakturinstabilität dieser Fraktur erheblich erschwert und auch zusätzlich dadurch, dass diese Frakturkombinationen gehäuft bei betagten Patienten zu beobachten sind (11).

Die Einteilung von *Hackethal* (36) in Indikationsgrade nach dem Wahrscheinlichkeitsgrad, in dem eine stabile Nagelung durchführbar ist, ergibt für Brüche, die im Bereich des Collum chirurgicum und weiter proximal liegen, den Indikationsgrad 0, d.h. die Wahrscheinlichkeit, eine stabile Nagelung zu erreichen, ist kleiner als 50%. Das von *Hackethal* 1961 (36) angegebene Indikationsschema hatte *Beck* 1962 (8) anhand seiner Erfahrungen mit der Bündelnagelung erweitert. Die meisten Operateure orientieren sich heute an dem erweiterten Indikationsschema nach *Beck* (8,19). Auch wenn man dieses für die Bündelnagelung (vgl. 1.2.3.) zugrunde legt, erreicht man bei Einspaltbrüchen im Bereich des Collum chirurgicum den Indikationsgrad III, bei langen Zweispalt- und Trümmerbrüchen, die das Collum chirurgicum mit einbeziehen, den Indikationsgrad IV und bei Brüchen bis in den Humeruskopf den Indikationsgrad 0. Sowohl *Hackethal* als auch *Beck* führten im jeweiligen Indikationsgrad 0 keine Operation mehr durch. Unsere vier Patienten mit Perforation der Nägel durch die Humeruskopfkortikalis fallen alle in den Indikationsgrad 0 nach *Beck*, da alle Frakturen oberhalb des Collum chirurgicum noch Fissuren aufwiesen. In der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses wurde bei relativ hohem Anteil an in den subkapitalen Bereich reichenden Frakturen das ursprüngliche, von *Hackethal* angegebene Indikationsspektrum der Bündelnagelung, ähnlich wie bei *Beck* (8,19), erweitert und somit auch eine weiter nach proximal reichende Fraktur versorgt. Das Indikationsspektrum wurde von *Meibert* und *Schopper* ähnlich erweitert wie durch uns. *Meibert* (73) berichtet über eine wieder häufiger erfolgende Anwendung der Bündelnagelung besonders bei älteren Patienten mit osteoporotischen Knochen. Er versorgte v.a. geschlossene Oberarmschaftfrakturen im proximalen Drittel sowie reponible Frakturen des Collum chirurgicum und anatomicum mit aufsteigenden Bündelnagelungen. Auch *Schopper* (108) wendet vorzugsweise die Bündelnagelung bei ungünstigen Frakturen älterer Patienten an. 40% seiner Fälle, die mit einer aufsteigenden Nagelung versorgt wurden (Doppel-, Trümmer- oder lange Spiralfrakturen), wiesen eine zusätzliche subkapitale Humerusfraktur auf.

Wie oben in der Diskussion bereits dargelegt, sind auch aktuell diese kombinierten Frakturen mangels alternativer Versorgungsmöglichkeiten nach wie vor problematisch. Bei allen unseren vier Patienten konnte trotz Indikationsgrad 0 eine ausreichend stabile Nagelung und eine zeitgerecht knöcherner Konsolidierung erreicht werden. Bei schmerzhafter Bewegungseinschränkung erfolgte nach knöcherner Konsolidierung eine vorzeitige Materialentfernung (Spanne 2-6 Mo postoperativ). Dies führte aber in keinem Fall zu einer langanhaltenden Funktionseinschränkung. Bei der Nachuntersuchung hatten alle eine freie Beweglichkeit der Schulter, 3 Patienten hatten ein sehr gutes Nachuntersuchungsergebnis, ein Patient ein gutes Ergebnis.

Die Tabellen der Abbildungen 30-33 enthalten eine Aufstellung der in der Literatur publizierten Komplikationsraten der gängigen Verfahren („-“ in den Tabellen bedeutet: keine Angaben in den zitierten Arbeiten):

Plattenosteosynthese	Niall (85)	Siebert (116)	Schweiberer (112)	Kwasny (64)	Rommens (95)
Zahl der Fälle	49	55	225	84	71
Volle Ausheilung (%)	96	-	94,8	-	-
Instabile Osteosynthese (%)	0	-	-	-	-
Plattenbruch (%)	0	-	-	-	-
Pseudarthrose (%)	-	0	6,8	0	0
Sek. Radialisparese (%)	0	1,8	9,7	5,9	12,8
Infekt (%)	-	0	9,3	-	0
Zweitoperation (%)	4	3,6	-	-	7

Abb. 30 Komplikationen nach Plattenosteosynthese

Bündelnagelung	Bara- nowski (5,6)	Brug (19/ 20)	Hennig (41)	Eigene Ergeb- nisse	Meibert (73)	Schopper (108)	Beck (8)
Zahl der Fälle	53	121/ 126	336	30	26	25	31
Volle Ausheilung (%)	100	84/-	-	100	76	68	100
Instabile Nagelung (%)	0	8 /-	-	0	7,6	0	12,9
Nagellokomotion (%)	-	1/7,7	1,5	13,3	-	4	6,45
Perforation Humeruskopf (%)	-	-/-	-	13,3	7,6	8	0
Sek. Radialisparese (%)	0	3/0,77	0	0	-	4	0
Pseudarthrose (%)	0	3/0,79	1,2	0	3,8	0	0
Tiefer Infekt (%)	0	0/0,77	0	0	-	0	0
Oberflächl. Infekt (%)	0	2/2,3	1,2	3,3	-	0	
Knochenfenster- ausriss (%)	-	-/-	-	0	-	0	9,67
Zweit-OP (%)	-	-/-	-	0	-	4	-
Primäre Übungs- stabilität (%)	98,1	92,5/-	92,5	96,7	100	-	87

Abb. 31 Komplikationen nach Bündelnagelung

Andere intramedulläre OP-Techniken	UHN (12,30,97, 123)	Seidel (51,67, 114,122, 123)	BEHAC (2)	Russel- Taylor (96)	AO/ASIF Flexnail (80)	AO-Tibia- marknagel unverriegelt (72)	Ender (38)
Zahl der Fälle	-	-	120	39	34	61	86
Volle Ausheilung (%)	95,1	100	-	-	-	-	-
Verzögerte Bruchheilung (%)	2,1-6,7	-	-	5,2	-	-	0
Pseudarthrose (%)	2,1-2,8	0	12	0	5,8	7	1,2
Sek. Radialis- parese (%)	0-3,9	0-6,4	-	2,6	-	2	2,4
Infekt oberflächl. (%)	0-1	1,7-3,5	-	-	-	0	0
Infekt tief (%)	0	1,7-6,4	-	-	0	0	0
Lokomotion (%)	-	-	1,7	-	-	2	9,4
Sek.Operation (%)	8,1	-	-	-	0	-	-
Fragmentaus- bruch intraop. (%)	2,0-3,9	4,2-5,0	-	7,8	-	-	-
Fraktur intraop. (%)	0-2	2,0-16,0	-	2,6	-	-	-
Nagelüberstand (%)	-	6,4-7,0	-	-	2,9	-	-
Übungs- stabilität (%)	-	-	-	-	59	-	100

Abb. 32 Komplikationen anderer intramedullärer Verfahren

Sarmiento	Sarmiento (100)	Wasmer (125)	Reck (93)	Kayser (50)	Wasmer (126)	Helmreich (40)
Zahl der Fälle	85	31	31	38	49	83
Volle Aus- heilung (Wo)	10	7,7	5 bis 8	6 bis 8	8,1	8
Pseudarthrose (%)	0	0	0	5,3	2	0
Verzögerte Bruchheilung (%)	-	9,7	3,2	-	-	2,4
Sekundäre Radialisparesie (%)	0	0	0	-	-	-
Dermatitis, Stauung (%)	3,5	12,9	22,6	2,6	24,4	-
Achsfehl- stellung >10° (%)	5	25,8	12	-	26,5	-
Rotationsfehl- stellung >5° (%)	-	22,5	-	-	22,4	-

Abb. 33 Komplikationen nach konservativer Therapie nach *Sarmiento*

Um einen direkten Vergleich verschiedener Therapiekonzepte möglichst objektiv vorzunehmen, bieten sich zur Nachuntersuchung Bewertungsschlüssel oder „Scores“ an.

Ganz allgemein ist von jedem klinischen Score zu fordern, dass er mehrere Parameter – subjektive und objektive – anführen und unabhängig voneinander darstellen soll, so dass eine individuelle Interpretation der gewonnenen Daten durch den Leser ermöglicht wird. Dies wird unserer Meinung nach durch den Bewertungsschlüssel von *Kwasny* (64) erfüllt, weswegen wir für die Bewertung unserer Endergebnisse den von *Kwasny* entworfenen Schlüssel übernommen haben. Dieser hatte ihn zur Bewertung mittels Plattenosteosynthese operativ versorgter Oberarmschaftfrakturen entworfen. Der

Bewertungsschlüssel erschien uns im Vergleich mit anderen, alle von uns untersuchten Kriterien mitzubeurteilen: Schmerzen bzw. Beschwerdesymptomatik, Beweglichkeit, Röntgenbefund, Kraftmessung im Seitenvergleich, subjektives Patientenurteil, kosmetisches Resultat und neurologische Ausfälle. Andere Bewertungsschlüssel beurteilten ausschließlich die Gelenkbeweglichkeit oder entweder nur Gelenkbeweglichkeit, Beschwerdesymptomatik und Röntgenbefund oder nur Beschwerden und Beweglichkeit. Vollständiges Einbeziehen der oben angeführten Kriterien in die Bewertung des Endergebnisses wurden nur mit dem o.g. Schlüssel gewährleistet.

Auch andere Autoren nutzen den Bewertungsschlüssel nach *Kwasny* zur Auswertung ihrer Ergebnisse (17,80). Ähnlich ausführlich ist der Bewertungsschlüssel nach dem Constant Score (23). Dieser ist aber extrem aufwendig zu erstellen und zieht die Beweglichkeit des Ellenbogengelenks nicht in die Bewertung mit ein. Man müsste, um den gleichen Umfang wie bei *Kwasny* zu erzielen, für die Funktion des Ellenbogengelenks einen weiteren Score hinzuziehen, wie z.B. den Mayo Elbow Score. Bei dem von *Kwasny* erstellten Score werden die Funktionsuntersuchungen des Ellenbogen- und Schultergelenks berücksichtigt, somit ist nur ein Score nötig und damit ist eine schnellere Beurteilung und Untersuchung möglich.

Um einen möglichst umfassenden Vergleich mit den in der Literatur angegebenen Resultaten zu erhalten, haben wir unsere Ergebnisse sowohl nach dem von *Kwasny* entworfenen Score als auch nach zwei weiteren gängigen, von Baranowski und Wasmer beschriebenen (vgl. 2.3.4.2.1. und 2.3.4.2.2.) Scores ausgewertet.

Unter Benutzung der beiden letztgenannten Bewertungsschlüssel erreichten unsere Patienten ein ähnliches Ergebnis: 13-mal ein sehr gutes (43,3%), 12-mal ein gutes Ergebnis (40%), 3-mal ein befriedigendes (10%) und 2-mal ein schlechtes Ergebnis (6,7%). Nach der Bewertung nach *Kwasny* erhielten 20 Patienten ein sehr gutes (66,5%), 6 ein gutes (20%), 2 ein befriedigendes (6,7%) und 2 ein schlechtes Ergebnis (6,7%). Die Diskrepanz erklärt sich durch die unterschiedliche Bewertung in der Beweglichkeit. Nach den beiden Bewertungsschlüsseln erhielt nur eine seitengleich freie Beweglichkeit ein sehr gutes Ergebnis, eine geringgradige Seitendifferenz in der Bewegung ohne funktionelle Einbuße aber schon nur noch ein gutes Ergebnis, wohingegen nach *Kwasny* eine Seitendifferenz bis 20° im Schultergelenk immer noch ein sehr gutes Ergebnis erzielen konnte. Betrachtet man aber die guten und sehr guten Ergebnisse zusammen, so ergibt sich ein ähnliches Resultat: 83,3% nach dem Schlüssel

von Baranowski und Wasmer gegenüber 86,5% nach dem eigenen Schlüssel. Es fehlt in den Beurteilungskriterien der beiden anderen Bewertungsschlüssel die subjektive Zufriedenheit der Patienten, das kosmetische Resultat, die Kraftentwicklung im Seitenvergleich und z. T. die achsengerechte Ausheilung. Trotz umfangreicherer Bewertungskriterien des Bewertungsschlüssels nach *Kwasny* und somit größerer Möglichkeiten, Negativpunkte anzusammeln, erstaunt es, dass trotzdem insgesamt ein besseres Endergebnis resultiert als bei den anderen, einfacheren Bewertungsschlüsseln. Dies liegt, wie oben beschrieben, vor allem daran, dass Patienten mit geringgradigen Bewegungseinschränkungen bei ansonsten bestehender Beschwerdefreiheit bei uns mit „sehr gut“ bewertet wurden und woanders nur noch ein gutes Ergebnis erzielen konnten. Dies zeigt aber auch, wie schwierig es ist, die einzelnen Nachuntersuchungsergebnisse zu vergleichen, zumal häufig die genaue Beschreibung der Bewertung der Beweglichkeit fehlt. Vorteile des von uns benutzten Schlüssels sind die direkte Vergleichbarkeit mit Gradangaben der Bewegungseinschränkungen, die getrennte Untersuchung und Bewertung von Ellenbogen- und Schultergelenksbeweglichkeit, aber auch die Auswertung der Beweglichkeit in einem Score.

Sarmiento (101) gibt nur bezogen auf das Schultergelenk die Endbeweglichkeit an und erreichte bei konservativer Behandlung in 98% der Fälle 25° oder weniger Einschränkung der Schulterbeweglichkeit. In unserem Bewertungsschlüssel wären bei 25° Einschränkung schon 3 Punkte erreicht, somit hätte bei optimaler restlicher Beurteilung das Endergebnis nur maximal „gut“ sein können (Endergebnis „gut“: Punktzahl von 2-6 Punkten). Die durchschnittlich erreichte Punktzahl aller unserer Patienten betrug 3,4. Von den 30 nachuntersuchten Patienten unserer Klinik hatten nur zwei eine Einschränkung der Schulterbeweglichkeit von mehr als 25°, somit hätten 93,3% 25° oder weniger Einschränkung im Vergleich zur nicht operierten Seite erreicht. Andere Kriterien wurden von *Sarmiento* nicht in sein Endergebnis mit einbezogen. Deshalb lässt sich auch unser Endergebnis nur sehr bedingt mit dem von *Sarmiento* vergleichen.

Wertet man „gute“ und „sehr gute“ Behandlungsergebnisse als Therapieerfolg, so wurde bei 86,3 % der Patienten nach dem eigenen Bewertungsschlüssel dieses Ziel erreicht.

Die Messung der groben Kraft konnte nur bei 29 Patienten im Seitenvergleich durchgeführt werden, da bei einem Patienten eine Plexusparese des nicht operierten

Armes vorlag. Eine Kraftminderung des operierten Arms wurde bei 10 Patienten gefunden. Bei 9 Patienten war die Differenz zur Gegenseite kleiner und bei einem Patienten größer als ein Drittel. 17 Patienten hatten eine seitengleiche und 2 Patienten eine größere Kraftentwicklung im operierten Arm. Bei den 10 Patienten mit Kraftminderung war in 5 Fällen der nicht dominante Arm betroffen. Hier ist aber zu berücksichtigen, dass ein Rechtshänder im linken Arm häufig weniger Kraft hat als im rechten. Vergleichende Untersuchungen an gesunden Patienten wurden dazu allerdings nicht gemacht. Dafür sprechen würde, dass bei den beiden Patienten mit einer größeren Kraftentwicklung der dominante Arm betroffen war.

5. Zusammenfassung

Der vorliegenden Arbeit liegt ein Kollektiv von 30 Patienten mit einer Humerusschaftfraktur zugrunde, die in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses in Frankfurt in der Zeit von Januar 1990 bis Oktober 2000 durch eine Bündelnagelung operativ versorgt wurden. Die Krankenakten wurden nachträglich ausgewertet und die Patienten wurden retrospektiv zur Nachuntersuchung einbestellt. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgte anhand des Bewertungsschlüssels nach *Kwasny*. Anhand der Nachuntersuchungsergebnisse wurde die Leistungsfähigkeit des eigenen Therapiekonzeptes zur Versorgung der genannten Verletzung überprüft und die Ergebnisse wurden mit den Literaturangaben für die konservativen und operativen Therapieverfahren verglichen.

Im Vergleich mit den nach operativen Verfahren publizierten Resultaten fielen unsere Ergebnisse hinsichtlich der schweren Komplikationen wie Pseudarthrosenrate, tiefe Infekte, postoperative Radialisläsionen mit jeweils 0% deutlich besser aus. Hinsichtlich dieser Komplikationen konnten unsere Ergebnisse mit denen einer konservativen Behandlung gleichgesetzt werden. Die Frühkomplikationsrate fiel allerdings mit 39,6% sehr hoch aus. Die meisten Komplikationen betrafen die Lokomotion der Bündelnägel und die Perforation der Nägel durch die Humeruskopfkortikalis mit jeweils 13,3%. In keinem der Fälle führte dieses jedoch zu einer Beeinträchtigung des Gesamtergebnisses. Insgesamt erreichten 86,7% (26 Patienten) ein gutes und sehr gutes Nachuntersuchungsergebnis, 6,6% (2 Patienten) erreichten befriedigende Ergebnisse. Ebenfalls 6,6% (2 Patienten) hatten ein schlechtes Endergebnis: Eine Patientin entwickelte ein komplexes regionales Schmerzsyndrom (Morbus Sudeck) und ein Patient wies eine Störung des sensiblen Astes des N. radialis auf, möglicherweise durch vermehrte Kallusbildung, allerdings erst 3 ½ Jahre postoperativ.

Es konnten alle Frakturen zeitgerecht (6-10Wo) zur Ausheilung gebracht werden.

Hinsichtlich der Operationsindikation ist in den letzten Jahren ein Trendwechsel hin zur operativen Versorgung erfolgt, wobei die konservative Therapie nach *Sarmiento* immer noch eine gute Alternative darstellt. Begünstigt wird dies sicher zusätzlich durch die Entwicklung neuer Operationsverfahren mit speziell für den Humerus entwickelten Implantaten. Die intramedulläre Frakturstabilisierung weist einige Vorteile gegenüber der Plattenosteosynthese auf: Minimierung des Zugangstraumas, Übungsstabilität auch bei osteoporotischen Knochen erzielbar, durch die Entwicklung neuer Implantate auch Rotationsstabilität, antegrade oder retrograde Implantation und somit eine Erweiterung

der Indikation bei weiter nach proximal und distal reichenden Frakturen möglich. Gute Indikationen für die Plattenosteosynthese sind immer noch die Versorgung der primären Radialisläsion, Frakturen mit Verdacht auf Weichteilinterponat, die Behandlung einer Pseudarthrose oder zur Defektüberbrückung. Im Wandel der Zeit mögen die neueren intramedullären Operationsverfahren Alternativen zur Bündelnagelung bieten und werden diese wahrscheinlich in Zukunft ablösen.

Die guten Ergebnisse und die geringe Rate an schweren postoperativen Komplikationen in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses haben aber unserer Meinung nach zum damaligen Zeitpunkt den Einsatz der Bündelnagelung zur Versorgung von Oberarmschaftfrakturen als Alternative zu konservativen Verfahren gerechtfertigt. Wegen der hohen Rate an Perforationen durch die Humeruskopf-kortikalis ist eine strengere Indikationsstellung bei Frakturen mit Gelenkbeteiligung bzw. mit bis in den Oberarmkopf reichenden Frakturen zu fordern. Ebenso sollte eine vermehrte Verwendung von Verkeilungsnägeln zur Verringerung der Lokomotionsrate erwogen werden.

Vorteile der Bündelnagelung gegenüber anderen intramedullären Verfahren sind:

- geringe Materialkosten und kein aufwendiges Zusatzinstrumentarium notwendig
- eine Anpassung durch Variieren der Nagelanzahl an sehr schmale und sehr weite Markhöhlen möglich
- geringe postoperative Komplikationsrate.

Wir betrachten die Bündelnagelung auch heute noch als gute Alternative bei der Versorgung von

- kurzen Quer- oder Schrägfrakturen des mittleren Drittels des Oberarmschaftes, wobei möglichst alle vier von Hackethal gestellten Forderungen erfüllt sein sollten: Fensterschnürung, Taillenschnürung, Spongiosanagelung und Verkeilungsnagelung.
- kombinierten subkapitalen Oberarmfrakturen mit langen Spiralfrakturen des Oberarmschaftes, die nach wie vor Problemfälle in der operativen und konservativen Versorgung darstellen.

Der Bewertungsschlüssel nach *Kwasny* hat sich bewährt und kann zur breiten Anwendung empfohlen werden, v.a. zum Vergleich verschiedener Therapiekonzepte. Er bietet eine gute Vergleichsmöglichkeit verschiedener Therapieverfahren und eine schnelle und einfache Auswertung.

6. Summary

In this study, we retrospectively reviewed 30 patients with humeral shaft fractures which were treated operatively with a closed retrograde bundle nailing according to Hackethal between January 1990 and October 2000 in our department of trauma surgery at the Markus-Krankenhaus. The case reports of the patients were also retrospectively analysed. Clinical outcome was evaluated with use of the Kwasny score. As a final outcome we wanted to verify the efficiency of our treatment through a comparison of our results with the published literature of other conservative and surgical treatment of humeral shaft fractures.

When comparing our results with published data on studies of other surgical treatments, our results in patients with severe complications like pseudarthrosis, deep infection, secondary radial nerve palsy showed better results than the literature data of other surgical treatments. We find no significant differences for those patients with severe complications compared to the literature data of non-surgical treatment (functional bracing). The rate of early complications remained very high at 39.6%. Most complications involved distal nail migration (locomotion) of the bundle nails and proximal nail perforation through the humeral head. Both of these types of complications represented a 13.3% occurrence rate. In no case studied, did the final results indicate a negative influence due to the treatment. 86.7% (26 patients) achieved "excellent" or "good" results, 6.6% (2 patients) had "fair" results and 6.6% (2 patients) achieved a "poor" final rating. Of the two patients achieving a "poor" rating, one patient developed Sudeck's atrophy and one patient showed a sensory affection of the radial nerve. The damage to the radial nerve, observed 3 and a half years after surgery, may have been the result of a higher than normal callus formation. Fracture healing was achieved without problems in all 30 patients (100 %) within 6-10 weeks.

Over the past years there has been a global tendency towards surgical stabilization of humeral shaft fractures, but the traditional treatment with functional bracing of Sarmiento remains a good alternative. The tendency towards surgery is certainly favoured in light of the development of new methods and implants specifically developed for the humerus. Intramedullary nailing has some advantages to the plating of humeral fractures resulting in less soft tissue damages, early functional treatment even for fractures of osteoporotic bones, rotational stability. The choice of antegrade or retrograde approach expands the spectrum of treatment possibilities for distal and proximal metaphyseal humeral fractures. Plating still remains a good choice for the

treatment of fractures associated with radial nerve palsies, fractures with impingement of soft tissues, treatment of pseudarthrosis and bone defective fractures. In time, the new intramedullary nail systems may offer an alternative treatment to bundle nails and probably will replace them in the future. The data derived from our study, along with the low rate of severe complications, establishes at that time the treatment of humeral shaft fractures with the implantation of Hackethal's bundle nails as an equivalent alternative treatment for functional bracing. Because of the high rate of proximal nail perforation through the humeral head, the treatment method of combined humeral shaft and proximal metaphyseal fracture with involvement of the humeral head should be carefully considered. As well the additional implantation of short nails may be considered to reduce the rate of distal nail migration (locomotion).

The advantages of the bundle nails versus other intramedullary nailing are:

- low cost of material and no need of specialized equipment
- flexibility to adjust the number and size of nails to the diameter of the medullary canal
- low degree of severe complications

Cases where bundle nails still are a good treatment choice:

- transverse fractures or short oblique fractures through the middle third of the humerus shaft, respecting the four rules of Hackethal: "jamming of the nails in the cortical window, jamming of the nails in the waist of the medullary canal, spreading the bunch of nails in the metaphysis and filling up the conus of the medullary canal with short nails".
- combined subcapital humeral fractures with spiral humeral shaft fractures, which still cause problems in surgical and conservative treatment.

The Kwasny evaluation score can be recommended for general applications, particularly as an analytical tool to compare different treatment concepts. It offers a good range to compare different treatment options and is quick and easy to apply.

7. Literaturverzeichnis

1. Allgöwer M (1964) Osteosynthese und primäre Knochenheilung, Langenbecks Arch. klin. chir. 308: 423-434
2. Alt V, Persoons D (2002) Der BEHAC-Nagel – ein neues intramedulläres Implantat zur Versorgung von 2-Etagen-Frakturen des Humerus, Unfallchirurg 105: 471-473
3. Bandi W (1964) Indikation und Technik der Osteosynthese am Humerus, Helv. Chir. Acta 31: 89-100
4. Bandi W (1977) Probleme der Indikationsstellung zur Osteosynthese von Oberarmschaftbrüchen, Hefte Unfallheilkunde 148: 372-379
5. Baranowski D, Brug E (1989) Aktuelle Indikationen zur Bündelnagelung, Unfallchirurg 92: 486-494
6. Baranowski D, Brug E (1990) Die Bündelnagelung bei Humerusfrakturen, Operti. Orthop. Traumatol. 2: 56-64
7. Baranowski D, Strobel M (1990) Prinzipielle Fehler bei der Bündelnagelung, Chir. Praxis 42: 93-106
8. Beck H (1962) Vollapparative Reposition und Bündelnagelung bei Oberarmschaftbrüchen, Langenbecks Arch. klin.Chir. 302: 381-402
9. Beck H (1975) Versorgung von Schaftfrakturen durch Bündelnagelung, Chirurg 46: 110-113
10. Blum J, Engelmann R, Kühle R, Hansen M, Rommens MH (2007) Intramedullary Nailing of Humeral Head and Humeral Shaft Fractures, Eur J Trauma Emerg Surg No 2
11. Blum J, Hansen M, Hessmann MH, Rommens PM (2009) Die kombinierte Humerusschaft- und proximale Gelenkfraktur, Obere Extremität 4: 7-15
12. Blum J et al (1998) Retrograde Nagelung von Humerusschaftfrakturen mit dem UHN, Unfallchirurg 101: 342-352
13. Blum J, Rommens PM (2002) Proximale Verriegelung von Humerusmarknägeln und Verletzungsrisiko des N. axillaris, Unfallchirurg 105: 9-13
14. Böhler L (1951) Technik der Knochenbruchbehandlung Bd 1, Verlag W. Maudrich, Wien, S. 353-360
15. Böhler L (1964) Gegen die operative Behandlung von frischen Oberarmbrüchen, Langenbecks Arch. klin. Chir. 308: 465-475

16. Braun W, Rüter A (1996) Frakturheilung, Unfallchirurg 99: 59-67
17. Brehme K (2004) Die Therapie der Humerusschaftfraktur, Dissertation der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
18. Brug E (1976) Bündelnagelung – nur bei Oberarmfrakturen?, Chirurgie 2: 113-118
19. Brug E, Beck H, Marschner R (1975) Die operative Stabilisierung der Oberarmschaftfrakturen mit dem Bündelnagel nach Hackethal, Mschr. Unfallheilkunde 78: 245-53
20. Brug E, Joist A, Sproedt J (1998) Indikation und Technik der Bündelnagelung am Humerus, Chir. Praxis 54: 441-454
21. Brug E, Westphal T, Schäfers G (1994) Differenzierte Behandlung der Humerusdiaphysenfrakturen, Unfallchirurg 97: 633-638
22. Brug E, Joist A, Meffert R (2002) Postoperative Radialisparese, Unfallchirurg 105: 82-85
23. Constant CR and Murley AH (1987) A clinical method of functional assessment of the shoulder, Clin Orthop Relat Res 214: 160-164
24. Cotta H, Rohe K (1987) Zur Morphologie der Pseudarthrosen, Hefte zur Unfallheilkunde 189: 393-397
25. Cotta H, Wentzensen A, Holz F, Krämer K-L, Pfeil J (1996) Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie, Thieme Verlag Stuttgart, New York 1996
26. Dederich R (1966) Der Wert von Mitella und Desault-Verbänden, Mschr. Unfallheilkd 69: 372-378
27. Deisenhammer W, Wagner M, Opitz A (1979) Ursachen von Pseudarthrosen nach konservativer Behandlung von Humerusschaftfrakturen, Hefte Unfallheilkunde 148: 412-418
28. Ecke H (1972) Komplikationen der Oberarmschaftfraktur, Langenbecks Arch. Chir. 332: 395-398
29. Ekkernkamp A, Muhr G (1987) Ist die operative Behandlung frischer, geschlossener Oberarmschaftbrüche als Routineverfahren vertretbar?, Zbl. Chir 112: 81-88
30. Fernandez FF et al (2004) Five years clinical experience with the unreamed humeral nail in the treatment of humeral shaft fractures, Injury 35: 264-271

31. Ferner H, Staubesand J (1982) Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen (Bd 1), Urban & Schwarzenberg
32. Giebel G (1991) Frakturheilungsstörungen des Oberarms, Unfallchirurg 94: 468-470
33. Giebel G, Tscherne H, Oestern HJ (1984) Fraktur- und Osteotomieheilungsstörungen, Chirurg 55: 725-730
34. Giebel G, Tscherne H, Reißmann K (1986) Die gestörte Frakturheilung am Oberarm, Ätiologie, Therapie und Ergebnisse von 40 aseptischen Fällen, Unfallchirurg 89: 353-360
35. Gustilo RB, Anderson JT (1976) Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones, J Bone Joint Surgery Am 58: 453
36. Hackethal KH (1961) Die Bündelnagelung, Springer Verlag, Berlin Göttingen Heidelberg
37. Hackstock H, Pölten St (1977) Technik des Sarmiento Brace, Hefte Unfallheilkunde 148: 383-387
38. Hall RF, Pankovich AM (1987) Ender Nailing of Acute Fractures of the Humerus, J. Bone Joint Surgery A 69: 558-567
39. Heinmann DJ, Poolmann RW, Sean SE, Ponsen K-J, Bhandari M (2010) Plate fixation or intramedullary fixation of humeral shaft fractures, Acta Orthopaedica 81 (2): 218-225
40. Helmreich M (1987) Die funktionelle Behandlung der OA-Schaftfrakturen nach Sarmiento, Unfallchirurg 90: 502-507
41. Hennig F, Link W, Wölfel R (1988) Bündelnagelung – eine Bilanz nach 27 Jahren, Akt. Traumatol. 18: 117-119
42. Hermichen HG, Pfister U, Weller S (1980) Einflüsse der Frakturbehandlung auf die Entstehung von Oberarmschaftpseudarthrosen, Akt. Traumatol. 10: 137-142
43. Hermichen HG, Pfister U, Weller S (1982) die Oberarmschaftpseudarthrose, Unfallchirurgie 8: 92-95
44. Hertel P (1987) Traumatologie 3, Chirurgische Operationslehre Band X, Schulter und obere Extremität, Urban & Schwarzenberg
45. Hofmeier G, Schweiberer L (1967) die Bündelnagelung bei Unterschenkel- und Oberarmfrakturen, Zbl. Chir. 48: 2903-2913

46. Holstein A, Lewis GB (1963) Fractures of the Humerus with Radial-Nerve Paralysis, *J. Bone and Joint Surgery A* 45: 1382-1288
47. Huber T (1974) Zur operativen Behandlung von Oberarmseudarthrosen, *Akt. Traumatol.* 4: 23-32
48. Jendryschik AH (1964) Die Behandlung der Humerus-Schaft-Fraktur mit dem Hänge-Gips (Hanging Cast), *Mschr. Unfallheilkd.* 67: 236-241
49. Kahle W, Leonhardt H, Platzer W (1979) Taschenatlas der Anatomie, Bd. 1, Thieme Verlag
50. Kayser M, Muhr G, Op den Winkel R, Ekkernkamp A (1986) Funktionelle Behandlung der Humerusfraktur nach Sarmiento, *Unfallchirurg* 89: 253-258
51. Kelsch G, Deffner P, Ulrich C (1997) Die Humerusverriegelungsmarknagelung nach Seidel, *Unfallchirurg* 100: 111-118
52. Kessler SB, Nast-Kolb D, Brunner U, Wischhöfer E (1996) Marknagelung des Oberarms als Alternative zur konservativen Therapie und zur Plattenosteosynthese, *Orthopäde* 25: 216-222
53. Kessler SB, Perren SM, Hallfeldt KKJ, Mandelkow H, Schweiberer L (1996) Biologische Aspekte zur Frakturheilung und –behandlung, *Hefte Unfallheilkd.* 194: 13-27
54. Klenerman L (1966) Fractures of the shaft of the humerus, *Journal of bone and joint surgery* 48 B: 105-111
55. Koch G (1971) Die Behandlung der Oberarmschaftbrüche mit der U-Schiene, *Chirurg* 42: 327-329
56. Köstler W, Strohm PC, Südkamp NP (2002) Neue Osteosyntheseverfahren am Humerus, *Chirurg* 73: 969-977
57. Krämer KL, Stock M, Winter M (1993) *Klinikleitfaden Orthopädie*, Stuttgart, Jungjohann Verlag
58. Kremer K, Lierse W, Platzer W, Schreiber HW, Weller S (1995) *Chirurgische Operationslehre*, Bd. 9 Schultergürtel und obere Extremität, S. 130-161, Thieme Verlag, NY
59. Kremer K, Kümmerle W (1981) *Intra- und postoperative Zwischenfälle*, Bd. III, Thieme Verlag
60. Küntscher G (1986) *Die Praxis der Marknagelung*, Katger/Germering München
61. Küntscher G (1964) Primäre Knochenheilung, *Langenbecks Arch. klin. Chir.* 308: 452-457

62. Kuner E, Schlosser V (1995) Traumatologie, Thieme Verlag
63. Kujat R, Tscherne H (1983) Ergebnisse der konservativen Frakturenbehandlung mit dem Brace nach Sarmiento. Langenbecks Arch. Chir. 361: 433-435
64. Kwasny O, Maier R, Scharf W (1990) Die operative Versorgung von Humerusschaftfrakturen, Akt. Traumatol. 20: 87-92
65. Kwasny O, Maier R (1991) Die Bedeutung von Nervenschäden bei der Oberarmfraktur, Unfallchirurg 94: 461-467
66. Labitzke R (1993) Die Endo-Helix – ein Markraumstabilisator für Röhrenknochen, Hefte zu der Unfallchirurg 230: 833-834
67. Laudy FGJ (1993) Verriegelungsnagelung des Humerusschaftbruches, Indikation, Hefte zu der Unfallchirurg, Heft 230: 837-839
68. Lehmann A, Raemy H (1980), Die funktionelle Behandlung der Humerusschaftfrakturen nach Sarmiento, Helv. chir. Acta 47: 97-101
69. Link W, Henning F (1988) Indikation und Osteosyntheseverfahren bei Humerusschaftfrakturen, Akt. Traumatol 18: 120-124
70. Ludolph E, Hierholzer G, Heusgen J (1983) Die gestörte Knochenbruchheilung, Unfallheilkunde 86: 423-428
71. Maurer J, Rüter AE (2004) Winkelstabile Plattenosteosynthese am proximalen Humerus, Trauma Berufskrankh 6, Suppl 2: 247-250
72. Marty B, Käch K, Friedl HP, Trentz O (1994) Die Marknagelung der Humerusschaftfraktur, Unfallchirurg 97: 424-429
73. Meibert M (1995) Bündelnagelung bei proximalen Oberarmbrüchen, Chir. Praxis 49: 489-498
74. Menger DM, Gauger JU, Schmitt-Köppler A (1985) Erfahrungen mit der Bündelnagelung bei Oberarmschaftfrakturen, Unfallchirurgie 11: 70-75
75. Mentzel HE, Probst J, Wohlleben B (1982) Oberarmschaftfrakturen und Oberarmschaftpseudarthrosen, Akt. Traumatol. 12: 229-234
76. Muhr G, Tscherne H, Zech G (1973) Konservative oder operative Behandlung der Oberarmschaftbrüche, Maschr. Unfallheilk. 76: 128-137
77. Muhr G, Wrezlewicz P (1987) Ursachen von Pseudarthrosen, Hefte Unfallheilkunde, 189: 400-402
78. Müller M et al. (1995) Chirurgie für Studium und Praxis, Breisch, Medizinische Verlags- und Informationsdienste

79. Müller ME, Allgöwer M, Schneider R, Willenegger H (1992) Manual der Osteosynthese, Springer Verlag Berlin
80. Müller CA, Henle P, Konrad G, Szarzynski M, Strohm PC, Südkamp NP (2007) Der „AO/ASIF-Flexnail“, klinische Ergebnisse der Marknagelosteosynthese von Humerusschaftfrakturen, Unfallchirurg 110: 219-225
81. Mumenthaler M (1998) Läsion peripherer Nerven und radikuläre Syndrome, Thieme Verlag
82. Nast-Kolb D, Schweiberer L, Betz A, Wilker D, Habermeyer P (1985) Die operative Versorgung der Humerusschaftfraktur, Unfallchirurg 88: 500-504
83. Nast-Kolb D, Schweiberer L (1989) Wandel und Fortschritt in der Frakturbehandlung des Oberarmschaftes, Orthopäde 18: 208-213
84. Nast-Kolb D, Knoefel WT, Schweiberer L (1991) Die Behandlung der Oberarmschaftfraktur, Ergebnisse einer prospektiven AO-Sammelstudie, Unfallchirurg 94: 447-454
85. Niall DM, O'Mahony J, McElwain JP (2004) Plating of humeral shaft fractures – has the pendulum swung back?, Injury 35: 580-586
86. Nitzsche L (1966) Spätergebnisse nach konservativer Behandlung der Humerusschaftfrakturen mittels Böhlerschen U-Gipsverbandes, Mschr. Unfallheilkd 69: 319-324
87. Oestern HJ, Tscherne H (1983) Pathophysiologie und Klassifikation des Weichteilschadens bei Frakturen, Orthopäde 12: 2-8
88. Oetiker J, Komorek W, Meyer RP, Kappeler U (1996) Die Prévot-Nagelung, eine elegante Methode, Unfallchirurg 99: 327-331
89. Panitz K, Neundörfer B, Piotrowski W (1975) Die Prognose von Nervenverletzungen bei Humerusfrakturen, Chirurg 46: 392-394
90. Pfister U (1979) Fehlerhafte Frakturbehandlung als Ursache der Oberarmschaftpseudarthrose, Hefte Unfallheilkunde 148: 418-42
91. Podlatis W, Decker S, Müller-Färber J, Scheuer I (1979) Konservative oder operative Therapie der Oberarmschaftfrakturen, Hefte Unfallheilkunde 148: 408-412
92. Poigenfurst J (1972) Diaphysäre Oberarmfrakturen, Zbl. Chir 97: 1643-1650
93. Reck T et al (1989) Die funktionelle Behandlung der OA-Schaftfrakturen nach Sarmiento, Chir. Praxis 41: 323-330

94. Rehn J (1972) Die Behandlung der Oberarmschaftbrüche, Mschr. Unfallheilk, 75: 469-479
95. Rommens PM, Vansteenkiste F, Stappaerts KH, Broos PLO (1989) Indikationen , Gefahren und Ergebnisse der operativen Behandlung von Oberarmschaftfrakturen, Unfallchirurg 92: 565-570
96. Rommens PM, Verbruggen J, Broos PL (1995) Retrograde Verriegelungsnagelung der Humerusschaftfraktur, Unfallchirurg 98: 133-138
97. Rommens PM et al (2008) Humeral nailing revisited, Injury doi:10.1016/j.injury. 2008.01.014
98. Rueff FL, Welhelm K, Hauer G (1972) Komplikationen und Fehlergebnisse nach Osteosynthesen am Oberarm, Arch. Orthop. Unfall-Chir. 73: 327-335
99. Rüster D (1985) Alte Chirurgie, VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin
100. Sarmiento A, Latta LL (1984) Nichtoperative funktionelle Frakturenbehandlung, Springer Verlag Berlin/NY/Tokio
101. Sarmiento A, Zagorski JB, Zych GA, Latta LL, Capps GA (2000) Functional Bracing for the Treatment of Fractures of the Humeral Diaphysis, J. Bone Joint Surgery 82 A: 478-86
102. Scharizer E (1964) Die Entwicklung der modernen Unfallchirurgie, ein mediko-historischer Überblick, Hefte zur Unfallheilkunde 79
103. Schauwecker F (1981) Osteosynthesepraxis, S. 71-87, Thieme Verlag
104. Schedl R, Fasol P, Spängler H (1977) Ergebnisse der konservativen Behandlung mit schwerer Gipsschiene und Desault, Hefte Unfallheilkunde 148: 380-383
105. Schiebler TH, Schmidt W (1987) Anatomie, Springer Verlag Berlin, Heidelberg
106. Schittko A (2003) Humerusschaftfrakturen, Unfallchirurg 106: 145-160
107. Scholze H (1970) Indikationsfehler bei der Behandlung von Oberarmschaftbrüchen, Langenbecks Arch. Chir. 327: 845-46
108. Schopper H, Linke E (1980) Die besondere Indikation zur Bündelnagelung am Oberarm, Akt. Traumatol. 10: 197-200
109. Schratz W, Wörsdörfer O, Klöckner C, Götze C (1998) Behandlung der Oberarmschaftfraktur mit intramedullären Verfahren (Seidel-Nagel, Marchetti-Vicenzi-Nagel, Prevot-Pins), Unfallchirurg 101:12-17
110. Schumpelick V, Bleese N, Mommsen U (1989) Chirurgie, Enke Verlag Stuttgart 1991

111. Schweiberer L (1987) Traumatologie 1, Breitner Chirurgische Operationslehre, Konservative und operative Frakturbehandlung, Urban & Schwarzenberg
112. Schweiberer L, Poeplau P, Gräber S (1977) Plattenosteosynthese bei Oberarmschaftfrakturen, Unfallheilkunde 80: 231-235
113. Schweiberer L, Betz A, Eitel F., Krueger P, Wilker D (1982) Bilanz der konservativen und operativen Knochenbruchbehandlung – obere Extremität, Chirurg 54: 226-233
114. Seidel H (1991) Verriegelungsnagelung des Humerus, Operat. Orthop. Traumatol. 3: 158-168
115. Shah JJ, Bhatti NA (1983) Radial Nerve Paralysis Associated with Fractures of the Humerus, Clin. Orthop. and rel. Res. 172: 171-176
116. Siebert CH, Heinz BC, Höfler HR, Hansis M (1996) Plattenosteosynthetische Versorgung von Humerusschaftfrakturen, Unfallchirurg 99: 106-111
117. Specht G, (1976) Primäre funktionelle Behandlung der Oberarmschaftbrüche, Aktuelle Chir. 11: 227-234
118. Specht G, Scheibe O, Kreft R (1979) Ergebnisse der primären funktionellen Behandlung von Oberarmschaftbrüchen, Aktuelle Chir. 14: 249-258
119. Trojan A (1983) Die Technik der konservativen Frakturbehandlung, Langenbecks Arch. Chir 361: 419-421
120. Tscherne H (1972) Primäre Behandlung der Oberarmschaftfrakturen, Langenbecks Arch. klin. Chir. 32: 379-388
121. Tytherleigh-Strong G, Walls N, McQuen MM (1998) The epidemiology of humeral shaft fractures, J. Bone Joint Surgery 80B: 249-53
122. Ulrich C, Burgis H, Teubner KE, Muth W (1993) Der Verriegelungsmarknagel nach Seidel am Humerus – klinische Ergebnisse, Hefte zu der Unfallchirurg, Heft 230: 840-842
123. Vecsei N, Kolonja A, Mousavi M, Vecsei V (2001) Die intramedulläre Stabilisierung von Oberarmschaftfrakturen, Wien. Klein. Wochenschr 113:15-16: 597-604
124. Vosschulte K (1982), Lehrbuch der Chirurgie, Thieme Verlag
125. Wasmer W, Wörsdörfer O (1984) Funktionelle Behandlung von Oberarmschaftbrüchen mit der Sarmiento-Manschette, Unfallheilkunde 87: 309-315

126. Wasmer W, Wörsdörfer O (1986) Die funktionelle Behandlung von Humerusschaftfrakturen mit der Sarmiento-Manschette unter Einbeziehung der distalen Frakturen, Hefte zur Unfallheilkunde 181: 925-929
127. Weber BG, Cech O (1973) Pseudarthrosen, Huber, Bern-Stuttgart-Wien
128. Wieser C (1964) Die primäre Knochenbruchheilung und ihre Störung im Röntgenbild, Langenbecks Arch. klin. Chir. 308: 434-451
129. Wölfel R, Link W, Spitzenpfeil E, Beck H (1993) Der Monofixateur zur Behandlung von Oberarmschaftfrakturen, Hefte zu der Unfallchirurg 230: 843-45

Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

„Die Versorgung von Humerusschaftfrakturen mit der Bündelnagelung nach Hackethal - Analyse der eigenen Behandlungsergebnisse und Vergleich mit den derzeit gängigen Verfahren“

in der Unfallchirurgischen Klinik des Markus-Krankenhauses unter Betreuung und Anleitung von Professor Dr. med. Herbert Weigand mit Unterstützung durch Oberarzt Dr. med. Eckhard Pripke ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

Vorliegende Arbeit wurde in keinem Publikationsorgan veröffentlicht.

Frankfurt, den 04.05.2011

Ines Gabel

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Herbert Weigand für die Stellung des Themas und für den immer gern gewährten freundlichen und wertvollen Rat bei der Entstehung dieser Dissertation.

Herrn Dr. med. Eckhard Priepke danke ich sehr für die Betreuung und seine große, durchgehende Unterstützung bei der Abfassung meiner wissenschaftlichen Arbeit, ganz besonders aber für die Geduld und die viele Zeit, die nötig war, diese Arbeit fertig zu stellen.

Nicht zuletzt möchte ich mich noch bei meiner Familie bedanken sowie bei allen Freunden, die direkt und indirekt zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.