

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
Klinikum rechts der Isar
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie

**Die intramedulläre Osteosynthese von dislozierten
Klavikulaschaftfrakturen mittels elastisch-stabiler Marknagelung**

—

**klinische Analyse, Vergleich der offenen mit geschlossener
Reposition sowie mit anderen Therapieverfahren**

Christina Barbara Schrödl

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.- Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle
2. Univ.-Prof. Dr. P. Biberthaler

Die Dissertation wurde am 09.08.2011 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.09.2013 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis.....	III
Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	IV
I. Einleitung.....	1
II. Grundlagen.....	4
1. Anatomie.....	4
2. Klassifikation.....	7
3. Therapeutische Verfahren.....	9
3.1 Konservative Therapie.....	10
3.2 Plattenosteosynthese.....	11
3.3 ESIN (Elastic Stable Intramedullary Nailing).....	12
III. Material und Methodik.....	14
1. Gruppeneinteilung.....	14
2. Implantate und Operationsverfahren.....	15
2.1 TEN (Titanium Elastic Nail).....	15
2.2 Operationstechnik.....	17
3. Nachuntersuchung / Follow-up.....	21
3.1 Allgemeine Datenerhebung und statistische Auswertung.....	21
3.2 Untersuchung.....	22
3.3 Radiologische Auswertung.....	23
3.4 Kraftmessung mittels IsoForceControl.....	24
3.5 Traumascores.....	26
3.5.1 DASH-Score.....	26
3.5.2 Constant-Score.....	27

IV. Ergebnisse.....	29
1. Gruppe 1 – retrospektive Population.....	29
1.1 Allgemeine Datenanalyse und Untersuchung.....	29
1.2 Radiologische Parameter.....	33
1.3 Funktionelles Ergebnis – Traumascores, Kraftmessung und Schmerzprofil	35
2. Gruppe 2 – prospektive Population.....	36
2.1 Allgemeine Datenanalyse und Untersuchung.....	36
2.2 Radiologische Parameter.....	39
2.3 Funktionelles Ergebnis – Traumascores, Kraftmessung und Schmerzprofil	40
3. Vergleich zwischen offener und geschlossener Reposition im Gesamtkollektiv.....	44
3.1 Allgemeine, radiologische und funktionelle Parameter.....	44
3.2 Kosmetisches Ergebnis.....	47
V. Diskussion.....	49
VI. Zusammenfassung.....	61
VII. Literaturverzeichnis.....	64
VIII. Danksagung	
IX. Curriculum Vitae	
X. Anhang	

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arterie
Abb.	Abbildung
AC-Gelenk	Akromioklavikulargelenk
AAOS	Academy of Orthopaedic Surgeons
a.p.	anterior-posterior
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
CS	Constant-Score
COHSS	Council of Musculoskeletal Specialty Societies
DASH	Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand
DCP	Dynamic Compression Plate
ESIN	Elastic Stable Intramedullary Nailing
et al.	und andere
Fa.	Firma
F1	Follow-up 1
F2	Follow-up 2
HIV	Human Immunodeficiency Virus
LCP	Low Compression Plate
lig.	Ligamentum
M.	Muskel
mm	Millimeter
N	Newton
n	number; Anzahl
OTA	Orthopaedic Trauma Association
SD	Standardabweichung
SECEC	Société Européenne pour la Chirurgie de l'Épaule et du Coude
SPSS	Superior Performing Software System
TEN(S)	Titanium Elastic Nail(s)
V.	Vene
VAS	visuelle Analogskala
vs.	versus

ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS

Abbildungen

Abb. 1	Querschnitt durch die Klavikula, Darstellung der variierenden Morphologie; <i>entnommen aus [70]</i>	5
Abb. 2	mittlere Klavikulaschaftfraktur mit muskulär bedingter Dislokation; <i>entnommen aus [60]</i>	6
Abb. 3	Robinson-Klassifikation der mittleren Klavikulaschaftfrakturen; <i>entnommen aus [68]</i>	8
Abb. 4	Ruhigstellung im Rucksackverband; <i>mit freundlicher Genehmigung von www.drafts.de, Stand 11. August 2009</i>	9
Abb. 5	Plattenosteosynthese mit superior positionierter 3,5 mm DCP; <i>entnommen aus [3]</i>	9
Abb. 6	Osteosynthese mit elastisch stabilem Marknagel (TEN).....	10
Abb. 7	Schematische Darstellung der 3-Punkt-Abstützung; <i>entnommen aus [75]</i>	13
Abb. 8	Gruppeneinteilung.....	14
Abb. 9	Titanium Elastic Nails in verschiedenen Größen; <i>entnommen aus http://us.synthes.com/Medical+Community/Product+Literature.htm, Stand 03. März 2010</i>	16
Abb. 10	links: Pfrieme zur Präparation des kortikalen Zugangs; rechts: TEN-Instrumentarium von Synthes; <i>entnommen aus [67]</i>	18
Abb. 11	a) Einbringen des TEN mittels Bohrfutter b) offene Reposition einer Klavikulafraktur; <i>entnommen aus [67]</i>	19
Abb. 12	Schmerzskala (VAS) zur Ermittlung der Schmerzstärke; <i>mit freundlicher Genehmigung von Fa. Mundipharma</i>	22
Abb. 13	Röntgenbilder eines Patienten in zwei Ebenen.....	23
Abb. 14	Gerät IsoForceControl und Nutzung.....	25
Abb. 15	Gruppe 1; Diagramm zur Altersverteilung unter Berücksichtigung des Geschlechts.....	29
Abb. 16	die Häufigkeit der gemessenen Verkürzung, differenziert in offene bzw. geschlossene Reposition.....	32
Abb. 17	a) dislozierte Klavikulafraktur mit Keilfragment	

	b) nach elastisch-stabiler Marknagelung.....	34
	c) nach Metallentfernung; vollständig konsolidiert.....	35
Abb. 18	Gruppe 2; Diagramm zur Altersverteilung unter Berücksichtigung des Geschlechts.....	37
Abb. 19	Verlaufskurve Schmerz, angegeben sind Durchschnittswerte der Gruppe 2.....	42
Abb. 20	F1: VAS in Relation zu DASH- und Constant-Score.....	43
Abb. 21	F2: VAS in Relation zu DASH- und Constant-Score.....	43
Abb. 22	Darstellung der Längen-Ausheilung in prozentualer Abhängigkeit..	47
Abb. 23	kaum sichtbare Narbe nach geschlossener Reposition.....	48
Abb. 24	Narbe und Repositionsnarbe nach offener Reposition.....	48

Tabellen

Die in den Tabellen genannten Zahlen sind grundsätzlich Mittelwerte, die meist mit Standardabweichung angegeben werden; andernfalls findet sich unter der Tabelle eine Beschreibung. Die Kraft wird stets in Newton angezeigt.

Tab. 1	Unfallursachen und Häufigkeitsverteilung in Gruppe 1.....	30
Tab. 2	Komplikationen in der Gruppe 1.....	31
Tab. 3	aktuelle Beschwerden.....	32
Tab. 4	Traumascores und Kraftmessung.....	36
Tab. 5	Komplikationen in der Gruppe 2.....	38
Tab. 6	aktuelle Beschwerden zu den Untersuchungszeitpunkten F1 und F2.....	39
Tab. 7	Mittelwerte Traumascores, VAS und Kraft bei F1 / F2 mit SD.....	41
Tab. 8	Patientendaten im Vergleich.....	44
Tab. 9	Kreuztabelle präoperativer Zeitraum und Art der Reposition.....	45
Tab. 10	Gegenüberstellung der Resultate nach geschlossener bzw. offener Reposition mit SD.....	45
Tab. 11	Kraftmessung in Newton für n=40.....	46
Tab. 12	Vergleich der CS-Werte mehrerer TEN-Studien.....	52
Tab. 13	Gegenüberstellung der in verschiedenen Kollektiven aufgetretenen Komplikationen.....	57
Tab. 14	Operationszeiten offene vs. geschlossene Reposition in Minuten...	58

I. Einleitung

Die Klavikulaschaftfraktur ist mit 5% - 10% eine der häufigsten Frakturen des erwachsenen Skeletts [54;60;68] mit einer geschätzten jährlichen Inzidenz von 30 – 50 Frakturen pro 100000 Einwohner im mitteleuropäischen Raum [16;31;55;68]. Sie spielt mit 35% - 44% Anteil eine wichtige Rolle bei Brüchen im Bereich des Schultergürtels [37;55] und noch immer werden die operative Therapie und hierbei die Wahl des Verfahrens kontrovers diskutiert, wie die ungebrochen hohe Anzahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen beweist [61].

Allgemein betrachtet, konzentrieren sich gut 80% der Frakturen auf das mittlere Drittel des Schlüsselbeins [33;48;63], wohingegen laterale Frakturen häufig mit Luxationen des Akromioklavikulargelenks einhergehen und solche im medialen Drittel äußerst selten sind [51]. Im Rahmen der dislozierten mittleren Schafffrakturen sind die einfachen Brüche mit 59% - 74,5% vertreten, während 25,5% - 42% auf die komplexen mehrfragmentären Frakturen entfallen [52;68]. Frakturen mit isoliertem Keilfragment werden hierbei den einfach dislozierten Brüchen zugeordnet.

Je nach Verletzung des haltgebenden akromioklavikulären Bandapparats oder des Schulterreckgelenks selbst besteht bei lateralen Brüchen die Tendenz zur Bildung von Pseudarthrosen oder posttraumatischen Arthrosen [21;51(S.713);59]. Bei vorliegender Instabilität wird daher die operative Fixierung bevorzugt.

Frakturen des medialen Drittels hingegen besitzen eine gute Heilungsprognose bei konservativer Therapie mittels Rucksackverband [36]. Da auch für die Verletzungen im mittleren Abschnitt eine günstige Prognose bezüglich Heilung und funktionellem Ergebnis vorliegt, wird solchen Frakturen wenig Beachtung geschenkt [27]. Bereits *Rowe* wies jedoch darauf hin, dass derartige Läsionen beim Erwachsenen hinsichtlich Schmerz und verletzungsbedingter Behinderung innerhalb der ersten drei Wochen nach dem Trauma vielfach unterschätzt werden [28;70]. Zudem berechnete *Robinson* [13;68] für dislozierte im Vergleich zu nicht-dislozierten diaphysären Frakturen ein 18,5faches Risiko, schlecht oder gar nicht zu konsolidieren.

Die Geschlechts- und Altersverteilung der diaphysären Klavikulafraktur zeigt einen zweigipfeligen Verlauf. Während im jungen Lebensalter vorwiegend männliche Patienten betroffen sind, welche Verkehrs- und Sportunfälle erleiden, dominiert im höheren Alter – gemäß der Bevölkerungsstruktur – das weibliche Geschlecht, wobei meistens häusliche Stürze zur Verletzung führen [9;55;56;60;68]. Aber dennoch tritt dieses Trauma bei älteren Patienten deutlich seltener auf als beispielsweise die proximale Humerusfraktur. Bei der Frakturgenese mag die postmenopausale Osteoporose einen prädisponierenden Faktor darstellen [36]. Die allgemeine Geschlechtsverteilung wird mit 2:1 bis 2,6:1 für Männer zu Frauen angegeben [13;68]. Eine ebenfalls hohe Inzidenz für Schlüsselbeinbrüche findet sich im Kindesalter [16;52;64].

Der Unfallmechanismus besteht entweder in einer direkten Gewalteinwirkung, die sich in einem unmittelbaren Schlag oder Stoß auf den kaum von Weichteilen geschützten Knochen ausdrückt, oder in einer indirekten Gewalteinwirkung, wenn über den Arm und das Schultergelenk Kraft fortgeleitet wird. Dies bewirkt auch die typische Dislokation der Fragmente [59].

Zu den häufigsten Ursachen für Schlüsselbeinbrüche zählen einerseits Fahrradunfälle und Stürze beim Skifahren, die durch den Fall auf den ausgestreckten Arm die indirekte Kraftübertragung demonstrieren, und andererseits Kontaktsportarten wie Rugby, Judo oder ähnliche Mechanismen, bei denen die unmittelbare Gewalteinwirkung im Vordergrund steht.

Der Großteil der mittleren Schafffrakturen wurde traditionell konservativ behandelt, in letzter Zeit jedoch wurden bei dieser Form der Therapie klinisch, radiologisch und subjektiv unbefriedigende Resultate eruiert [22;36;56;69;72]. Dadurch wird erneut die Frage nach dem optimalen Behandlungskonzept in den Raum gestellt. Es soll nicht nur das primäre Ziel der Knochenheilung erfüllen, sondern auch den kosmetisch-ästhetischen Ansprüchen der Patienten Genüge tun und vor allem den Anforderungen an Funktionsfähigkeit und Aktivität gerecht werden, die in hohem Maße Erwerbsfähigkeit und Lebensqualität beeinflussen.

Somit wird ein in den letzten Jahren bemerkbarer Wandel des Therapieverständnisses augenscheinlich: Es geht nicht länger nur darum, dass der Knochen heilt, sondern auch wie er heilt.

Unlängst konnten *Pieske et al.* [61] in einer Umfrage an 142 unfallchirurgischen/orthopädischen Kliniken in Deutschland feststellen, dass mehr als die Hälfte der Häuser bei einer Klavikulaschaftfraktur ohne Knochenkontakt der Fragmentenden die operative Stabilisation wählt. Ebenso lag in dieser Erhebung die mittlere Operationsrate bei 26% und damit deutlich über den in der Literatur üblicherweise angegebenen Werten von unter 10%. Vor dem Hintergrund dieser Zahlen sowie durch die erfolgreiche Etablierung der minimal-invasiven elastisch-stabilen Marknagelung (ESIN) als Alternative zur Plattenosteosynthese kann eine Trendwende hin zur operativen Therapie beobachtet werden.

Mit der vorliegenden Arbeit sollen das therapeutische Konzept und die Behandlungsergebnisse der intramedullären Osteosynthese mittels Titanium Elastic Nails (TEN) bei dislozierten Klavikulaschaftfrakturen für die Jahre 2007 bis 2009 im Rahmen einer Nachuntersuchung analysiert und ausgewertet werden.

Besondere Aufmerksamkeit gilt hierbei dem Vergleich zwischen offener und geschlossener Reposition und deren Effekt auf das Outcome.

Darüber hinaus soll festgestellt werden, ob diese minimal-invasive Vorgehensweise zu besseren Ergebnissen führt als das bisher angewendete klassische Therapieverfahren der Ruhigstellung in Rucksackverband beziehungsweise Armschlinge oder die operative Stabilisierung mittels Plattenosteosynthese.

II. Grundlagen

1. Anatomie

Das Schlüsselbein ist nicht nur der erste Knochen des menschlichen Skeletts, der sich in der Embryonalzeit bildet, sondern auch der letzte, der ossifiziert: Erst mit Mitte 20 sind die Verknöcherungsprozesse am Sternoklavikulargelenk abgeschlossen [37;60].

Wie *Andermahr et al.* in einer Studie anhand von 206 Präparaten zeigen konnten, beläuft sich nach Beendigung des Wachstums die durchschnittliche Länge dieses Röhrenknochens bei Männern auf $15,6 \pm 1$ cm und bei Frauen auf $14,6 \pm 1$ cm [4], wobei die dominante Wachstumszone in der sternalen Region zu finden ist [64].

S-förmig gebogen und relativ subkutan gelegen, fungiert die Klavikula als einzige knöcherne Verbindung zwischen oberer Extremität und Rumpfskelett, die durch die beiden Artikulationen Sternoklavikulargelenk medial und Akromioklavikulargelenk lateral gehalten wird [80]. Auf diese Art ist die Bewegung des Schlüsselbeins grundsätzlich verbunden mit derjenigen der Skapula [26]. Funktionell betrachtet, unterstützt die Klavikula durch ihre Position die Elevation des Arms über 90° sowie seine Rückführung innerhalb dieser Bewegung. Ihr eigener Bewegungsumfang umfasst hierbei bei der Elevation $15^\circ - 30^\circ$ und bei der Rotation nach hinten sogar $30^\circ - 50^\circ$ [37]. Eine postoperative Aktivitätsbeschränkung auf unter 90° Abduktion kann somit die auf eine Läsion wirkenden Rotationskräfte limitieren [26].

Doch nicht nur die anatomische Lage, bar von schützender Muskulatur und stabilisierenden Bändern, sondern auch die Morphologie prädestiniert die Klavikula für Frakturen. Der medial keilförmige und lateral eher plattflächige Knochen weist genauso wie sein Markraum unterschiedliche Durchmesser auf, wobei die Maße im mittleren Drittel mit $1,2 \pm 0,2$ cm für die Klavikula und $6,7 \pm 2,6$ mm für die Markhöhle am geringsten sind [4]. Aus dieser Erkenntnis, kombiniert mit der S-förmigen Struktur, lässt sich folgern, dass an dieser biomechanischen Schwachstelle der Großteil aller Frakturen lokalisiert ist [37;51(S.707/708);70].

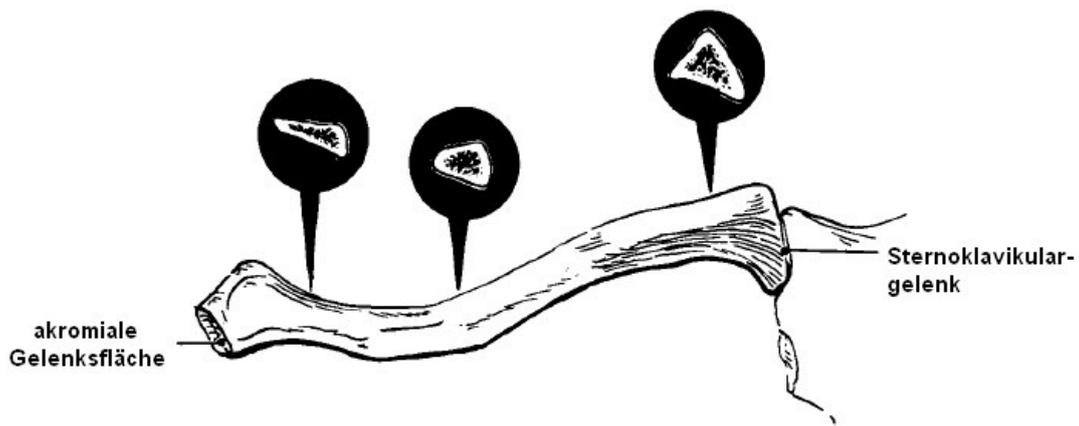


Abb. 1 Querschnitt durch die Klavikula,
Darstellung der variierenden Morphologie

Die umgebenden Strukturen und deren beeinflussende Kräfte erklären dann das klinische Bild einer klavikulären Schafffraktur: Durch das Gewicht des Arms wird das laterale Fragment nach kaudal gezogen, während der M. sternocleidomastoideus als stärkster deformierender Faktor für die kraniale Dislokation des medialen Fragments sorgt. Dies führt zur typischen bei Inspektion und Palpation feststellbaren Stufenbildung (Abb. 2).

Durch die Nähe zu empfindlichen Anlagen wie Brachialplexus und A. und V. subclavia, die beinahe unmittelbar unter der Klavikula verlaufen, kann es auch bei harmlos anmutenden Unfällen zu schwerwiegenden Begleitverletzungen kommen [60;70]. Aufgrund der subkutanen Lage des Knochens besteht zudem eine erhöhte Gefahr für die Perforation der Haut und offene Verletzungen.

In der klinischen Untersuchung präsentiert sich die Schlüsselbeinfraktur als sehr eindeutig. Der Patient stützt häufig den eng am Körper getragenen, innenrotierten Arm am Ellbogen ab, um dessen Gewicht aufzufangen. Inspektorisch ist eine Schwellung, Deformierung der Klavikula und Schulterasymmetrie festzustellen. Die traumatisierte Schulter scheint im Vergleich zur kontralateralen Seite verkürzt. Die Palpation offenbart Druckdolenz über dem betroffenen Areal und Krepitation der Fragmente. Bei Vorliegen einer AC-Gelenk-Sprengung kann meist das sogenannte Klaviertastenphänomen ausgelöst werden: Durch die (Teil-)Ruptur der

coracoklavikulären und akromioklavikulären Ligamente weicht das laterale Klavikulaende nach kranial ab und kann vom Untersucher nach unten gedrückt werden. Lässt der Druck nach, federt das Schlüsselbein wieder nach oben.

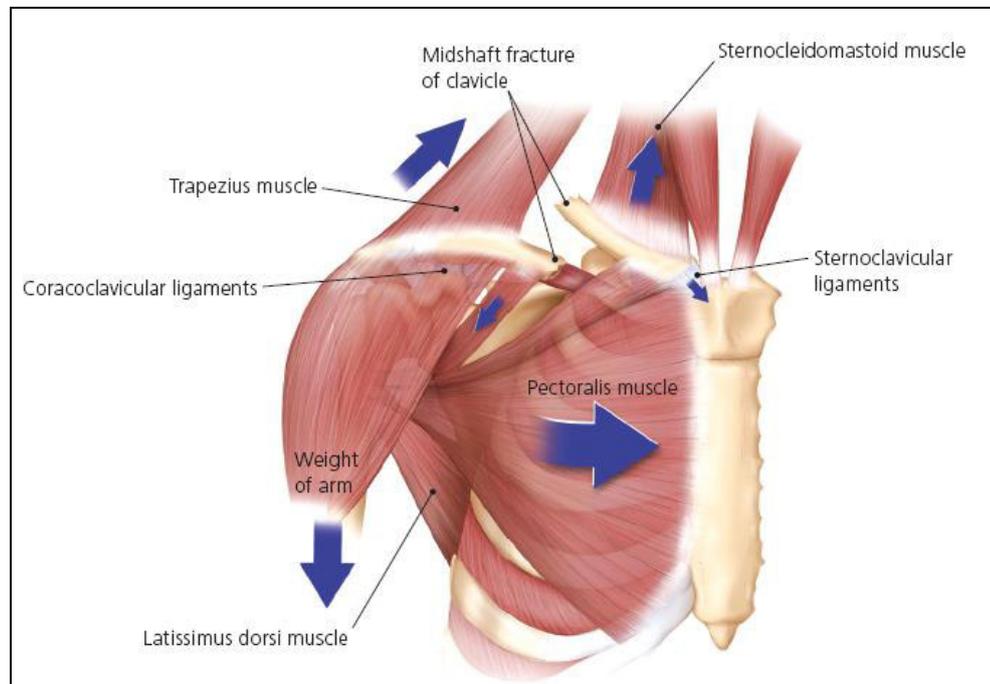


Abb. 2 mittlere Klavikulaschaftfraktur mit muskulär bedingter Dislokation

Genauso wie Markhöhle und Knochendurchmesser variiert auch die Kortikalisdicke in ihrem Verlauf. So befinden sich in der sternalen und akromialen Zone des Schlüsselbeins wegen der eher gering ausgeprägten Rindenschicht typische Perforationsstellen für intramedulläres Osteosynthesematerial.

Andererseits ermöglicht ebendiese anatomische Gegebenheit intraoperativ einen leichteren Zugang zum Markraum, welcher für das Einbringen von TENS am inferioren sternalen Abschnitt gewählt wird.

2. Klassifikation

Wie alle anderen Knochenbrüche, unterscheiden sich auch die Klavikulafrakturen hinsichtlich ihrer Lokalisation und Komplexität sowie diesbezüglicher Therapieverfahren und Prognosestellungen. Es existieren mehrere Klassifikationssysteme, die anhand ebendieser Kriterien generiert wurden und zu Orientierung und Aufbau eines Behandlungskonzepts beitragen sollen.

Die älteste – und am einfachsten anzuwendende – Einteilung stammt von *Allman* aus dem Jahre 1967, der sich an der Lokalisation der Verletzung auf dem Knochen ausrichtete [2]: Er gliederte die Klavikula in ein distales, mittleres und proximales Drittel, wobei er als Trennungslinie nach lateral die coracoklavikulären Ligamente (lig. conoideum und lig. trapezoideum) ansah und nach medial die laterale Begrenzung der ersten Rippe. Entsprechend dieser Segmentierung wurden die auftretenden Frakturen den Gruppen II, I und III zugeordnet. Die Nummerierung erfolgte nach abnehmender Inzidenz der Verletzung.

Des Weiteren bestehen jeweils noch die Subgruppen A, B und C, die sich mit nicht-dislozierten, dislozierten und mehrfragmentären Frakturen befassen. Letztere treten allerdings nur bei der Gruppe I auf [63].

Eine andere, ebenso gebräuchliche Klassifikation wurde von der *OTA* (Orthopaedic Trauma Association) ins Leben gerufen. Auf der Basis von Allmans Dreiteilung werden zusätzlich noch die Frakturarten in Einfach-, Keil- und komplexe Fraktur unterschieden und diese wiederum nach Bruchmechanismus (Biegung, Rotation oder Mehrfragmentation) differenziert [58].

Die neueste und ausführlichste Einteilung wurde 1998 im britischen *Journal of Bone and Joint Surgery* vorgestellt. In dem Bestreben, eine Fraktur nicht nur anhand ihrer anatomischen Gesichtspunkte in der Bildgebung zu typisieren, sondern gleichzeitig in einen Zusammenhang mit Outcome und Prognose zu stellen, soll die sogenannte Robinson-Klassifikation schon in der Kürzel-Zuweisung mögliche Risikopatienten identifizieren können [68].

Wenn es gelingt, eventuelle Kandidaten für Pseudarthrose oder Nonunion bereits vorher festzustellen, kann durch die Wahl geeigneter Therapieverfahren das Auftreten solcher Komplikationen reduziert werden.

Wie bei den zuvor beschriebenen Systemen besteht die Grundidee in einer Differenzierung zwischen medialer (Typ 1), diaphysärer (Typ 2) und lateraler (Typ 3) Fraktur, die dann mit anderen Kriterien kombiniert wird. Eine vorliegende Dislokation ist mit dem Buchstaben B, ihr Fehlen entsprechend mit A gekennzeichnet. Die Abbildung 3 repräsentiert lediglich den Part der diaphysären Klavikulafrakturen.

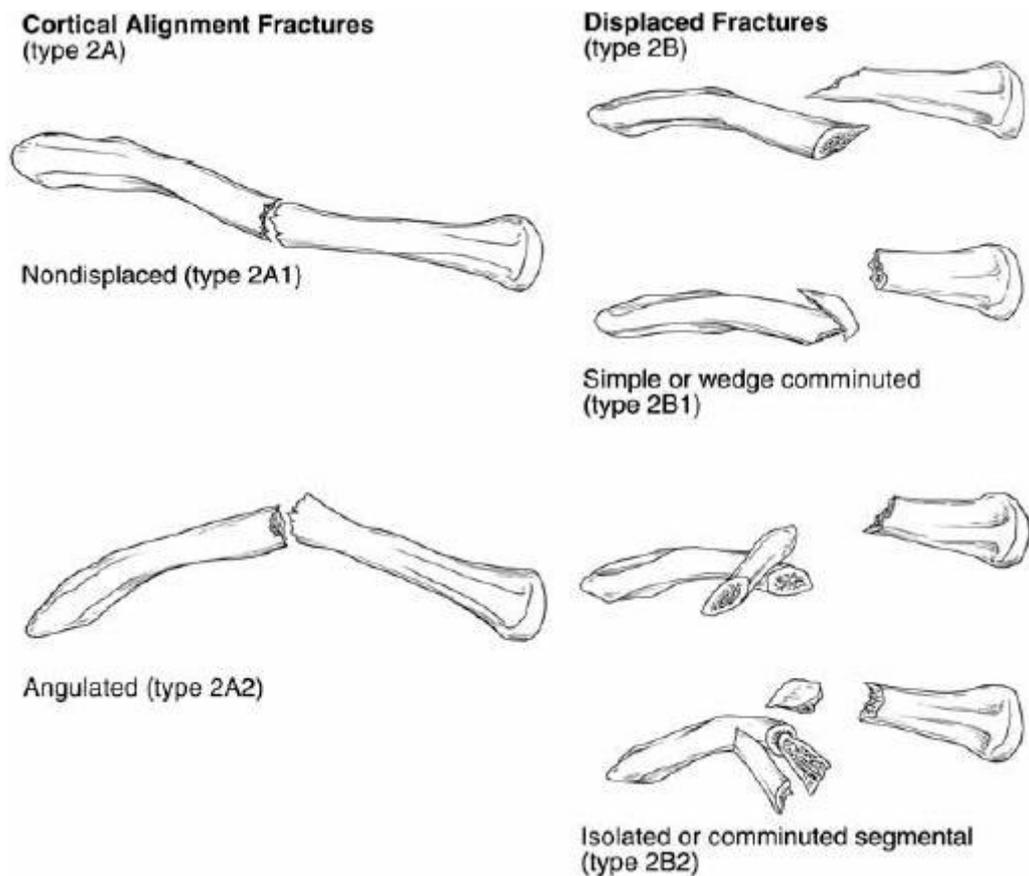


Abb. 3 Robinson-Klassifikation der mittleren Klavikulaschaftfrakturen

3. Therapeutische Verfahren

Zur Behandlung von Frakturen stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Die häufigsten bei Vorliegen einer diaphysären Klavikulaschaftfraktur angewendeten Verfahren sind die konservative Therapie als nicht-invasive Methode und die Plattenosteosynthese oder intramedulläre Schienung im Bereich der operativen Techniken. Allen Praktiken gemein ist als primäres Ziel die Wiederherstellung der Schulterfunktion auf prätraumatischem Niveau.



Abb. 4 Ruhigstellung im Rucksackverband



Abb. 5 Plattenosteosynthese mit superior positionierter 3,5 mm DCP



Abb. 6 Osteosynthese mit elastisch stabilem Marknagel (TEN)

3.1 Konservative Therapie

Schon seit Hippokrates werden Schlüsselbeinbrüche durch die konservative Behandlung der Reposition und Retention im Stützverband zur Ausheilung gebracht [72]. Obwohl insgesamt mehr als 200 verschiedene Methoden für nicht-invasives Vorgehen beschrieben wurden [5], ist der Einsatz von Rucksackverband (stella dorsi) oder einfacher Schlinge am weitesten verbreitet.

Insbesondere der Rucksackverband (Abb. 4) gilt wegen der guten Prognose betreffend Knochenheilung und Outcome als Therapie der Wahl bei Klavikulafrakturen im mittleren Drittel [5;15;49;70;78]. Hierbei wird der Schultergürtel durch einen Verband, der über ein Wattepolster in der Achselhöhle der unverletzten Seite und ein weiteres als Hypomochlion auf der Frakturseite gewickelt wird, fixiert [72]. Dieser bleibt bei wöchentlichen radiologischen Kontrollen für einen Zeitraum von 2 - 4 Wochen angelegt, bis die Fraktur konsolidiert ist [5;13;65].

Da Studien aus den 1960er Jahren niedrige Pseudarthrosraten postulierten und eine erfolgreiche Behandlung gleichgesetzt wurde mit bloßer Knochenheilung, konnte sich diese Vorgehensweise als traditionelles Therapieschema etablieren [50; 70;76].

Zwar können mithilfe der konservativen Therapie eine Operation und alle damit verbundenen Risiken umgangen werden, doch die Straffheit des Verbandes engt häufig die axillären Strukturen ein und produziert auf diese Art Schmerzen, eine Kompression der Subclavia-Gefäße oder Irritationen des Brachialplexus.

Bei 4,5% bis 31% der Patienten zeigten sich nach nicht-chirurgischer Behandlungsweise unbefriedigende Resultate, die neben den oben genannten Komplikationen auch Pseudarthrose und Verkürzung des Schlüsselbeins mit einschlossen [7;22;32;49;69]. Diese Aussage wird durch die Untersuchung von *Zlowodzki et al.* [85] bestätigt, in der sie eine Gesamt-Pseudarthrosenrate von 5,9% darstellen und, bei separater Betrachtung der dislozierten Schaftfrakturen, sogar einen Anstieg auf 15,1% nachweisen konnten.

Daher mag der Rucksackverband für die weitgehend stabilen nicht-dislozierten Frakturen geeignet sein, jedoch bei instabilen und vor allem dislozierten Brüchen der Schaftregion vermag er die reponierten Fragmente kaum in ihrer anatomisch korrekten Position zu halten [27;52;72]. Kommt es bei bestehender Dislokation zur Konsolidierung, kann sich die daraus resultierende Verkürzung des Knochens negativ auf die Schulterfunktion auswirken [22;39;44;76].

3.2 Plattenosteosynthese

Neben der Marknagelung ist die Plattenosteosynthese (Abb. 5) die Standardmethode beim operativen Management von mittleren Klavikulaschaftfrakturen [13;30].

Während die Indikationen für ein chirurgisches Zugehen zur Klavikulafraktur des mittleren Drittels in der Vergangenheit eher vorsichtig gestellt wurden [30], müssen diese inzwischen weiter gesteckt werden. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird eine Intervention definitiv verlangt bei offenen Frakturen, neurovaskulären Verletzungen, massiver Dislokation der Fragmente mit drohender Hautdurchspießung, Polytrauma, Vorliegen einer „Floating Shoulder“ und Pseudarthrosenbildung [13;27;47;48;61].

Dagegen steht die Operationsindikation bei isolierten dislozierten Schlüsselbeinbrüchen, Fragmentierung und Verkürzung durch den Bruch weiterhin zur Diskussion [13;85]. Es zeigt sich jedoch die Tendenz, ansonsten gesunde, körperlich aktive oder schwer arbeitende Erwachsene sowie Athleten grundsätzlich zu operieren [3;16;30;61].

In der Regel kommen bei diesem Verfahren eine schmale DCP (dynamic compression plate), LCP (locking compression plate) oder Kleinfragment-

Rekonstruktionsplatte zur Anwendung [8;33;67], die an der superioren oder anterior-inferioren Knochenfläche aufgelegt und mittels Schrauben in der Gegenkortikalis fixiert werden [3;8;65]. Unabhängig vom Frakturtyp konnte für die Plattenosteosynthese in mehreren Studien eine Pseudarthrose-Rate von 2,2% bis 3% nachgewiesen werden [3;48].

Darüber hinaus sind mehrere negative Effekte mit dieser Methode assoziiert. Dazu zählen neben Wundheilungsstörungen das Auftreten von hypertrophen Keloidnarben sowie Implantatlockerungen und Refrakturen nach Materialentfernung.

Neben allgemeinen Operationsrisiken wie Infektion oder Nachblutung liegt die spezielle Problematik derartiger Implantate darin, dass die Zuggurtungsseite der Klavikula und damit auch die optimale Position der Platte je nach Belastungsrichtung und Rotation des Armes variieren [33;67]. Da eine Biegebelastung durch keine Plattenlage vermieden werden kann, muss zum Verhindern eines Plattenbruchs ein in Relation zur Knochenstärke groß dimensioniertes Implantat eingesetzt werden, das wiederum durch seine subkutane Prominenz lokale Irritationen auslösen kann.

3.3 ESIN (Elastic Stable Intramedullary Nailing)

Die erste intramedulläre Schienung einer Klavikulafraktur wurde bereits 1907 von Lambotte [14(S.17);28] beschrieben und stellt in ihrer Verfahrensweise eine Alternative zur operativen Versorgung mittels Plattenosteosynthese dar.

Als eigentliche Begründer der aktuell angewendeten ESIN-Technologie gelten *Ligier et al.*, die dieses Verfahren erstmals bei Femurschaftfrakturen in der Kindertraumatologie einsetzten mit dem Ziel, eine frühe Kallusbildung und dadurch rasche Wiederherstellung der Knochenkontinuität zu erzeugen [14(S.23/24);41].

Bevor diese Arbeitsgruppe ihre Methode als „Nancy-Nagelung“ etablierte, wurde die Markraumschienung der langen Röhrenknochen mehrfach modifiziert und es entwickelten sich zahlreiche Implantate wie Kirschner-Drähte oder verschiedene Arten von Stahlnägeln. Allerdings konnte sich keine dieser intramedullären Techniken durchsetzen [18;20;37;38;48;73;81], da es neben den von *Grassi et al.* im Zusammenhang mit Kirschner-Drähten verzeichneten Komplikationen der Infektion,

Pseudarthrose oder Refraktur auch zu solch schwerwiegenden wie Plexusverletzungen und intrathorakale Migration kam [28;48;71].

Das biomechanische Prinzip von ESIN (Abb. 6) beruht auf der Kombination von elastischer Mobilität und Stabilität [41], so dass physiologische Zug- und Druckkräfte unterstützt, pathologische Torsions- und Schubkräfte jedoch ausgeschaltet werden [14(S.26)]. Die Gewährleistung der Stabilität erfolgt nicht nur durch die Implantate selbst, sondern auch durch Knochen und umgebende Muskulatur. Die Schienen fungieren als intramedulläre elastische Verspannung, die durch ihre Fähigkeit zur reversiblen Deformierung die einwirkenden Kräfte von Körpergewicht und Muskelzug kompensieren und den Knochen in seine Ausgangsposition zurückführen können. An der Fraktur angreifende Energien sollen demnach nicht annulliert, sondern kontrolliert werden [14(S.28);41;75].

Während den oben genannten Implantaten eine Verankerung in der Kortikalis des medialen und lateralen Fragments zugrunde liegt, wird die langstreckige Stabilisierung des Knochens bei der minimal-invasiven Marknagelung über die sogenannte 3-Punkt-Abstützung erreicht [14(S.26);75]. Diese erlaubt einerseits durch die Blockade von Rotation und Angulation eine frühe Belastung, während andererseits Mikrobewegungen die Frakturheilung stimulieren [14(S.33)].

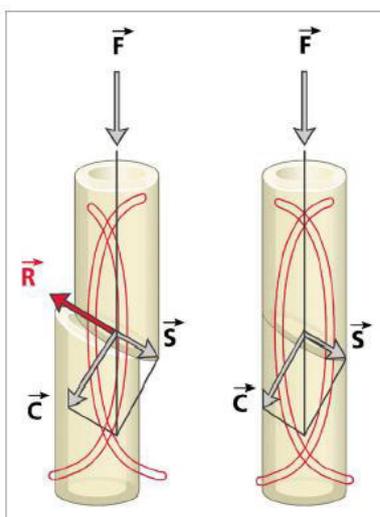


Abb. 7 Schematische Darstellung der 3-Punkt-Abstützung; je größer der Kontakt zu den Wänden der Markhöhle, desto höher die Stabilität (abgebildet ist die Verspannung einer Fraktur mit 2 intramedullären Titanstiften)

III. Material und Methodik

1. Gruppeneinteilung

In der vorliegenden Arbeit wurden die klinischen Ergebnisse von insgesamt 40 Patienten der Abteilung für Unfallchirurgie des Klinikums rechts der Isar (Technische Universität München) analysiert sowie deren subjektives und objektives Outcome erfasst. Alle waren nach einer isolierten mittleren Klavikulaschaftfraktur mittels elastisch-stabiler intramedullärer Schienung operativ versorgt worden.

Die Patienten wurden in zwei Studienpopulationen unterteilt:

Gruppe 1 beinhaltet 30 Patienten, die im Zeitraum Dezember 2006 bis Dezember 2008 entsprechend der oben genannten Diagnose behandelt wurden. Sämtliche Daten beruhen auf einer retrospektiven Erfassung.

Gruppe 2 repräsentiert das prospektive Patientengut und umfasst 10 Personen, die sich ab Beginn des Jahres 2009 in der Unfallchirurgie mit einer Klavikulaschaftfraktur vorstellten.

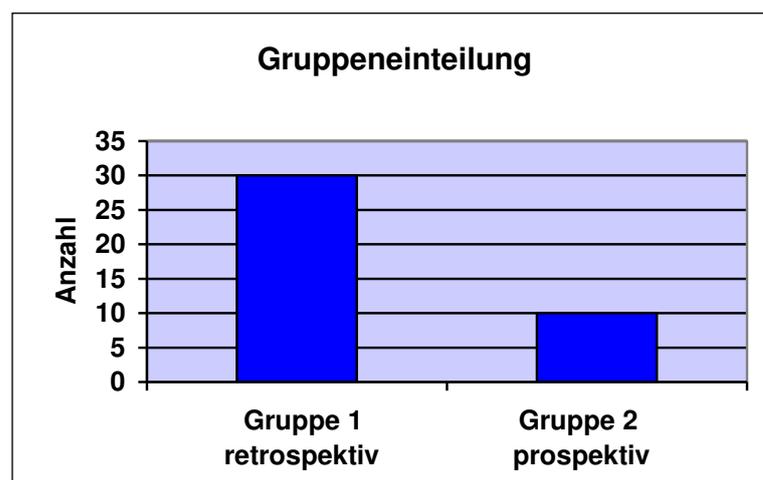


Abb. 8 Gruppeneinteilung

Voraussetzung für die Teilnahme an der Studie war neben der Vollendung des 18. Lebensjahres das Vorliegen einer unilateralen Klavikulafraktur des mittleren Drittels, welche nach der OTA-Klassifikation [58] dem Typ 15-B entspricht und bei *Allman* [2] der Gruppe I. Die osteosynthetische Versorgung erfolgte stets mit einem Titanium Elastic Nail.

Als Ausschlusskriterien galten primäre konservative Therapie für mehr als 2 Wochen, bereits vorangegangene osteosynthetische Versorgung oder eine Fraktur früheren Zeitpunkts. Weitere Ausschlusskriterien waren das Vorliegen eines Polytraumas oder einer Kettenverletzung der betroffenen Schulter im Sinne einer „Floating Shoulder“, außerdem Vorhandensein einer pathologischen Fraktur oder Pseudarthrose. Zusätzlich ausgeschlossen wurden Personen, bei denen Nerven- oder Plexusschäden beziehungsweise Gefäßläsionen auftraten oder die an vorbestehenden Erkrankungen aus dem rheumatischen Formenkreis, entzündlichen Grunderkrankungen (beispielsweise Hepatitis oder HIV) oder an neurologisch-psychiatrischen Krankheiten litten.

2. Implantate und Operationsverfahren

2.1 TEN (Titanium Elastic Nail)

Obwohl ursprünglich für die operative Versorgung von Schafffrakturen im Kindesalter entwickelt [79], hat sich die elastisch-stabile Markraumschienung auch in der Erwachsenentraumatologie als minimal-invasive und elegante Methode bewährt.

Bei allen Studienteilnehmern wurde zur operativen Stabilisierung der Klavikulafraktur ein Titanium Elastic Nail (TEN) der Firma Synthes (Umkirch / Deutschland) verwendet. Das Implantat besteht aus einer Titan-Aluminium-Niobium-Legierung, welche sich aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften durch Leichtigkeit, Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit auszeichnet. Darüber hinaus ermöglicht die Fähigkeit zur plastischen Deformierung einen stabilen Halt in der Markhöhle, während zugleich genügend Elastizität vorhanden ist, um etwaigen dislozierenden Kräften entgegenzuwirken [24].

Die Marknägel sind in 6 verschiedenen Durchmessern (1,5 mm bis 4,0 mm) erhältlich, wobei die Abstufung in 5 mm-Schritten erfolgt. Zur leichteren Identifikation sind die einzelnen Maße in unterschiedlichen Farben codiert [79].



Abb. 9 Titanium Elastic Nails in verschiedenen Größen (Fa. Synthes)

Wie aus der obigen Abbildung ersichtlich wird, ist die Spitze des elastischen Titannagels abgeflacht und leicht gebogen, was ein einfacheres Vorschieben in den intramedullären Raum gestattet und die Gefahr einer Perforation der Gegenkortikalis umgeht [24]. Innerhalb des TEN-Sets werden alle Implantate in der Einheitslänge von 440 mm geliefert und müssen intraoperativ auf das gewünschte Maß gekürzt werden.

Die individuelle Schienenstärke wird vor Beginn der Operation festgelegt. Dabei gilt die von *Slongo* [75] postulierte Regel, dass der Implantatdurchmesser zwischen einem Drittel und 40% des Isthmus der Markhöhle betragen soll [14(S.36)]. Nach der Erkenntnis von *Dietz et al.* [14(S.45)] lässt ein zu groß gewählter Durchmesser die Schiene beim Vorschieben im Markraum blockieren und ein zu dünnes Implantat reagiert aufgrund der Reibungskräfte mit Stauchung. Darüber hinaus übersteigen bei einem zu geringen Durchmesser die Scherkräfte der Fraktur die Rückstellkräfte des Marknagels, was zu einem Implantatbruch führen kann.

Zur Versorgung von mittleren Klavikulaschaftfrakturen kam in der unfallchirurgischen Abteilung des Klinikums als Standardimplantat der Marknagel mit 2,5 mm Durchmesser zum Einsatz. Für Patienten mit engen Markhöhlen wurden Schienen der Stärke 2,0 mm gewählt sowie 3,0 mm bei Personen mit entsprechend großem intramedullären Volumen.

Innerhalb des Knochens stützt sich der TEN gemäß der 3-Punkt-Fixierung an der Eintrittsstelle, auf Frakturhöhe an der Kortikalis der Gegenseite und zuletzt im Gegenfragment ab [14(S.28)]. Als Konsequenz dieser Verspannung ergeben sich 4 biomechanische Charakteristika: Biegestabilität, axiale Stabilität, Rotationsstabilität und Translationsstabilität [80]. Durch diese intramedulläre Schienung wird idealerweise ein direkter Kontakt zwischen den Knochenfragmenten hergestellt und bei erlaubten Mikrobewegungen die sekundäre Knochenheilung ohne Kallusbildung induziert.

Mit dem elastisch-stabilen Marknagel steht somit nicht nur ein intramedulläres Implantat zur Verfügung, das durch frakturfernes Einbringen eine zusätzliche Traumatisierung des Gewebes auf Frakturhöhe vermeidet und frühe Belastungs- und Übungsstabilität gewährleistet, sondern dessen Kosten für Material, Operationsdauer und Dauer des Krankenhausaufenthalts sich auch in ökonomischer Hinsicht in günstigem Licht darstellen.

2.2 Operationstechnik

Bei der in Intubationsnarkose ausgeführten Operation werden die Patienten in „Beach-Chair“-Position so gelagert, dass Arm und Schulter der betroffenen Seite frei beweglich sind. Als Operationsinstrumentarium kommt das TEN-Set der Firma Synthes (Umkirch / Deutschland) zur Anwendung.

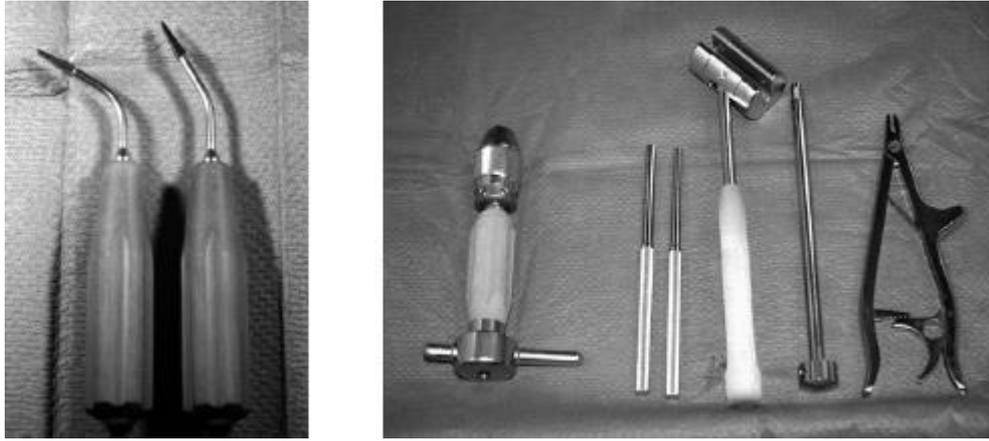


Abb. 10 links: Pfrieme zur Präparation des kortikalen Zugangs
rechts: TEN-Instrumentarium von Synthes

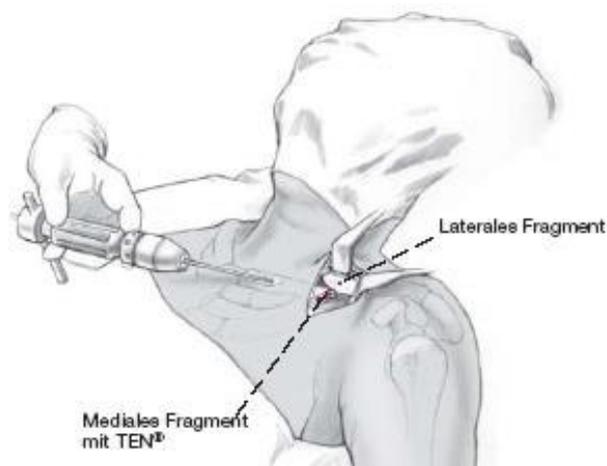
Mit Hilfe des Bildwandlers wird das Sternoklavikulargelenk dargestellt, um den operativen Zugang festlegen zu können. Dieser darf nicht innerhalb der Gelenkkapsel liegen. Die Hautinzision für das Einbringen des Marknagels wird circa 1 - 2 cm distal des Sternoklavikulargelenks und etwas kaudal der Knochenunterkante gesetzt. In diesem Bereich der proximalen Klavikula befindet sich die optimale Eintrittsstelle, da die Kortikalis in diesem Abschnitt am dünnsten, der Durchmesser des Knochens mit 2,5 cm jedoch am größten ist. Auf diese Art kann das Risiko einer Perforation der Gegenkortikalis umgangen werden, wenn die ventrale Rindenschicht mit dem 3,2 mm-Bohrer in schrägem Winkel eröffnet wird. Zur nachfolgenden Erweiterung des Zugangs dient ein Pfriem (Abb. 10).

Die Auswahl der geeigneten TEN-Stärke wird in Abhängigkeit vom Durchmesser des Isthmus des Markkanals getroffen [14(S.36);75] und wurde im vorangehenden Teilkapitel erläutert. Es gilt die Empfehlung, den Nagel auf das etwa Dreifache der Markraumweite vorzubiegen, so dass der Punkt der stärksten Krümmung später im Bereich der Fraktur zu liegen kommt [80]. Ein solches Präparieren vereinfacht nicht nur das Einbringen der Schiene in die Markhöhle, sondern erhöht auch wegen der größeren Materialspannung die Stabilität der 3-Punkt-Fixierung. Der innere Anpressdruck ist für die Stabilität der Fraktur von größerer Bedeutung als der mediale und laterale Verankerungspunkt [75].

Anschließend wird der elastische Titannagel, eingespannt in ein Universalhandbohrfutter oder das spezielle Bohrfutter des TEN-Sets, mit Drehbewegungen per Hand unter Bildwandlerkontrolle nach lateral bis zum Frakturspalt vorgeschoben (Abb. 11a). Die abgeflachte und gebogene Implantatspitze dient in diesem Zusammenhang als Kufe.



a



b

Abb. 11 a Einbringen des TEN mittels Bohrfutter
b offene Reposition einer Klavikulafraktur

Ebenfalls unter Bildwandlerkontrolle erfolgt die manuelle geschlossene Reposition der Fragmente und der laterale Klavikulapart kann auf den TEN aufgefädelt werden. Lässt sich die Fraktur jedoch auf diese Weise nicht reponieren, wird zunächst versucht, die Fragmente mithilfe von perkutan platzierten Repositionszangen einzurichten. Falls es auch damit nicht gelingen sollte, den Marknagel in das distale

Bruchstück vorzuschieben, muss eine offene Reposition erfolgen (Abb. 11b). Dazu setzt der Chirurg in Höhe des Frakturspalts entlang der Langer's Linie eine Hilfsinzision (Säbelhiebschnitt), um eine unmittelbare Manipulation der Bruchstücke und der Nagelspitze zu bewirken. Nach der Reposition wird der elastische Titannagel unter drehenden Bewegungen ins laterale Fragment vorgetrieben. Bei Vorliegen einer komplexen Fraktur werden die übrigen Fragmente ohne zusätzliche Fixierung an die stabilisierten Hauptsegmente der Frakturzone locker angelagert oder falls möglich in den Frakturspalt eingekeilt.

Nachdem die Implantatlage und Rekonstruktion der Knochenachse mittels Durchleuchtung kontrolliert wurden, erfolgt unter Verwendung eines Seitenschneiders die Kürzung des TEN. Das Ende des Marknagels sollte dabei ungefähr 2 - 3 mm über das Niveau der Kortikalis hinausragen, um die spätere Materialentfernung zu erleichtern. Ein zu prominentes Nagelende kann jedoch zu Dys- und Parästhesien im Bereich des operativen Zugangs führen sowie zu entzündlichen Reaktionen und Perforation der Haut, wenn das Implantat nach medial disloziert. Diese mediale Migration des Marknagels ist auch die am häufigsten auftretende Komplikation des Verfahrens. Im Zusammenhang mit Mehrfragmentfrakturen kann es darüber hinaus zum sogenannten Teleskopeffekt kommen, der sekundären Verkürzung der Klavikula [20]. Diese tritt vor allem dann auf, wenn die Adaptation der Hauptsegmente wegen der Fragmentierung im mittleren Drittel nur ungenügend ist oder nicht gelingt.

Der Wundverschluss erfolgt durch eine subkutane Naht und anschließende Hautnaht sowie Anlegen eines sterilen Wundverbands.

Der frühfunktionellen Beübung kann nach Wundheilung stattgegeben werden, dabei bleibt neben zweiwöchiger Anwendung einer Armschlinge die Abduktion für 6 Wochen auf 90° beschränkt.

Die Materialentfernung wird in Lokalanästhesie oder kurzer Allgemeinanästhesie nach radiologischer Frakturheilung vorgenommen, jedoch möglichst nicht vor Ablauf des dritten Monats. Im Unterschied zur Plattenosteosynthese oder konservativen Therapie bemisst sich das Risiko der Refraktur nämlich nicht am angewendeten Verfahren, sondern an der Entscheidung des Arztes, das Implantat frühzeitig zu

entfernen [74]. Als operativer Zugang fungiert die vorbestehende Narbe und mithilfe einer Extraktionszange wird die Markschiene herausgezogen.

Obwohl nicht zwingend notwendig, wird die Materialentfernung von unserer Klinik im Rückblick auf die oft gravierenden Komplikationen durch andere Produkte der Markraumschienung [18;71] empfohlen.

3. Nachuntersuchung / Follow-up

Die Nachuntersuchung der Patienten erfolgte innerhalb eines Zeitraums von 3 Monaten bis 2,5 Jahren postoperativ, wobei für das Follow-up der retrospektiven Population ein Termin und für die prospektive zwei Termine – jeweils 3 Monate nach der Operation und der Metallentfernung – anberaumt wurden. Die Untersuchung differenziert sich in folgende Bereiche:

3.1 Allgemeine Datenerhebung und statistische Auswertung

Alle zur standardisierten Auswertung relevanten Daten wurden einerseits durch Anamnese und Untersuchung des Patienten, andererseits durch Prüfung der Krankenakten und Beurteilung der Röntgenbilder gewonnen. Die genannten Aspekte wurden von einem einzigen Untersucher durchgeführt.

Zu den erfassten Kriterien zählten Geschlecht, Alter, Klassifikation der Fraktur, Traumaanamnese mit Begleitverletzungen, Operationszeitpunkt und –dauer, Zeitpunkt der Materialentfernung, Vorliegen einer offenen oder geschlossenen Reposition, Implantatmaße, intraoperative Durchleuchtungszeit und Patientenzufriedenheit sowie vorbestehende Erkrankungen, intra- und postoperative Komplikationen und aktuelle Beschwerden.

Die erhaltenen Informationen wurden für die spätere statistische Auswertung in einen selbstentwickelten Fragebogen und eine Excel-Tabelle eingetragen. Die deskriptive Datenanalyse erfolgte mittels SPSS für Windows XP (Version 16,0; SPSS Inc., Chicago). Um Verteilungsunterschiede quantitativer Merkmale zwischen zwei

Gruppen zu vergleichen, wurden der Mann-Whitney-Test und der Wilcoxon-Test angewendet und das Signifikanzniveau auf $p < 0,05$ festgelegt; alle Daten sind als arithmetische Mittelwerte oder Median angegeben.

3.2 Untersuchung

Im Rahmen der Nachuntersuchung erfolgte die Inspektion und Palpation der entblößten Schulter. Zur Evaluation der Schultersymmetrie wurde unter Verwendung eines Maßbandes die Länge der Klavikula im Seitenvergleich bestimmt. Als Endpunkte der Messung dienten hierbei medial das Sternoklavikulargelenk und lateral das Akromioklavikulargelenk.

Die Operationsnarbe und – falls vorhanden – Repositionsnarbe wurden bezüglich der Heilung und Keloidbildung beurteilt und ebenfalls vermessen.

Abschließend wurde anhand einer visuellen Analogskala (VAS), welche als das sensitivste Instrument zur Objektivierung der persönlichen Schmerzempfindung gilt [25], die Schmerzintensität registriert. Hierbei entspricht die Werteverteilung 0 bis 10 der Steigerung „gar kein Schmerz“ bis „maximal vorstellbarer Schmerz“.

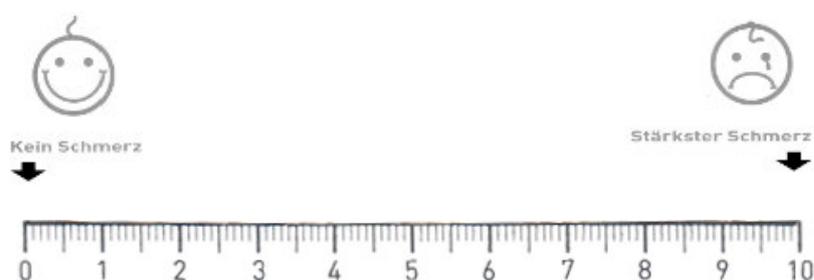


Abb. 12 Schmerzskala (VAS) zur Ermittlung der Schmerzintensität

Bei der retrospektiven Patientengruppe wurde die Erhebung des Schmerzcharakters nur einmal im Rahmen des Follow-up durchgeführt. Im Falle der prospektiven Studienpopulation wurden zusätzlich zu den beiden Nachuntersuchungen auch die

VAS-Daten für den präoperativen Zeitpunkt und den ersten postoperativen Tag ermittelt, um den Verlauf beobachten zu können.

3.3 Radiologische Auswertung

Die Grundlagen der bildgebenden Diagnostik waren die Standardröntgenaufnahmen der Klavikula in zwei Ebenen. Die kombinierte Darstellung sowohl im anterior-posterioren (a.p.) Strahlengang als auch in der Schrägaufnahme (30° kranio-kaudal) ist notwendig, um das Ausmaß der Dislokation genau bestimmen zu können.

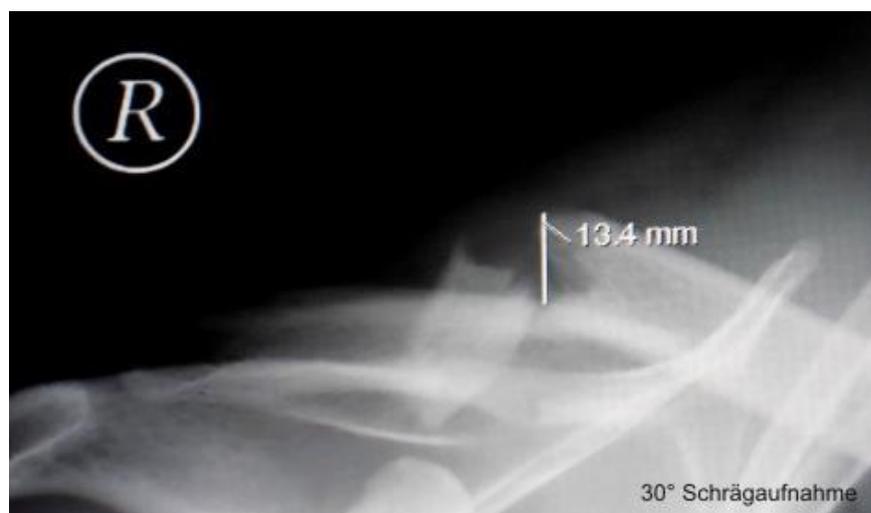


Abb. 13 Röntgenbilder eines Patienten in zwei Ebenen

Auf jeder Übersicht sollte der frakturierte Knochen mit seinen beiden Artikulationen komplett abgebildet sein, um beispielsweise Verletzungen nach Rockwood oder akromiale Läsionen ausschließen zu können.

Insgesamt wurden 4 digitale Röntgenaufnahmen pro Patient ausgewertet: präoperativ, postoperativ, vor und nach der Metallentfernung. Radiologische Nachkontrollen erfolgten in der Regel nach circa 10 Wochen, bei ungenügender Konsolidierung wurde eine Wiedervorstellung nach weiteren 4 bis 5 Wochen vereinbart.

Während die präoperative Darstellung hinsichtlich des Grades der Dislokation und Klassifikation der Fraktur bewertet wurde, diente die postoperative Aufnahme zur Kontrolle von Implantatlage, korrekter Position der Knochenachse und Fragmentadaptation. Die beiden letzten Abbildungen wurden in Bezug auf den Konsolidierungsprozess und ebenfalls die Achsstellung beurteilt, wobei nach der Metallentfernung auch auf eventuell vorhandene Implantatfragmente und etwaige Refrakturen der Klavikula geachtet wurde.

3.4 Kraftmessung mittels IsoForceControl

Um den Einfluss der Fraktur auf die Muskulatur von Schultergürtel und oberer Extremität zu ermitteln, wurde das Muskelkraft-Analysegerät IsoForceControl der Firma MDS Medical Device Solutions AG (Oberburg / Schweiz) (Abb. 14) verwendet. Dieser Apparat dient dazu, Muskelkräfte während einer variabel einstellbaren Zeitspanne (3 bis 20 Sekunden) zu messen und hierbei den Durchschnittswert sowie die Ermüdung zu errechnen [45]. Innerhalb der gewählten Messperiode wird die Kraft 16 Mal pro Sekunde in Newton gemessen und integriert, wodurch die eventuellen Auswirkungen von Kraftspitzen auf das Ergebnis unterbunden werden.

Die Durchführung der Messung erfolgte stets bei 90° Abduktion in Skapulaebene (d.h. 30° Anteversion) am gestreckten Arm des stehenden Patienten. Der Gurt des Instruments kommt hierbei über dem distalen Radioulnargelenk zu liegen, während der Daumen nach unten weist. Dies ist der von der *SECEC* (europäische Gesellschaft für Schulter- und Ellbogenchirurgie) empfohlene Messpunkt [6] und auf

diese Art kann die gesamte Muskelkraft der oberen Extremität ausgeschöpft werden. Zu beachten ist, dass die Applikation der Kraft rechtwinklig zum Gerät erfolgen muss, da bei einer schrägen Zugrichtung verfälschte Werte auftreten können.

In der vorliegenden Arbeit wurden pro Untersuchung bei jedem Patienten sowohl am linken als auch rechten Handgelenk 3 Messungen vorgenommen und anschließend jeweils der Mittelwert gebildet. Das einzelne Messintervall war bei diesem Vorgang festgelegt auf 5 Sekunden und als für das Endresultat relevanter Wert wurde die jeweilige Durchschnittskraft angesehen.



Abb. 14 Gerät IsoForceControl und Nutzung

3.5 Traumascores

Als Instrumente zur Beurteilung und zum Vergleich von Behandlungsergebnissen bei Verletzungen im Bereich der oberen Extremität stehen unterschiedliche Scores zur Verfügung.

Bei der detaillierten Erfassung von Krankheitszuständen rückte in den letzten Jahren zusätzlich zu den rein objektiven Parametern immer mehr das subjektive Befinden des Patienten in den Vordergrund [23;43;82]. Psychosoziale Konsequenzen und Funktionalität besitzen inzwischen die gleiche Priorität wie die korrekte Wiederherstellung von Biomechanik und Anatomie und führten damit zur Entwicklung von patientenorientierten Fragebögen. Im Falle der hier vorliegenden Untersuchung kamen die beiden Traumascores DASH-Score und Constant-Score zur Anwendung. Im Anhang werden beide Fragebögen wiedergegeben.

3.5.1 DASH-Score

Im Rahmen dieser Studie wurde zur patientenzentrierten Evaluation der DASH-Score (Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) herangezogen, welcher durch die Zusammenarbeit verschiedener amerikanischer Institutionen entstand [23] und erst 2003 von *Germain et al.* in deutscher Version veröffentlicht wurde [17]. Es handelt sich dabei um einen self-report-Fragebogen, in dem der Patient Fragen zu seinem derzeitigen Zustand beantwortet, die die Globalfunktion der oberen Extremität erfassen.

In dieser Form besteht der Fragebogen aus zwei Komponenten, welche zum einen 30 Fragen zu den Bereichen Funktion, Symptome und soziales Erleben enthalten und zum anderen vier optionale Fragen, die sich auf die Gebiete Musik / Sport oder Arbeit beziehen [57].

Die Auswertung des DASH folgt einem Punktesystem, das sich zwischen den Werten 0 und 100 bewegt, wobei 0 einer vollkommen gesund funktionierenden Extremität entspricht und 100 ein völliges Funktionsdefizit bedeutet.

Jede Frage bietet die Möglichkeit, auf einer Skala von 1 bis 5 („keine Einschränkung“ bis „maximale Einschränkung“) zu antworten [19;57]. Zunächst lässt sich aus den

Angaben des Patienten eine individuelle Gesamtpunktzahl errechnen, die anschließend in einen DASH-Score umgewandelt wird:

$$\frac{\text{Rohwert} - \text{niedrigster möglicher Rohwert}}{\text{Mögliche Spanne des Rohwerts} / 100} = \text{DASH}$$

Der niedrigste mögliche Rohwert entspricht hierbei der Minimalpunktzahl von 34 und die mögliche Spanne stellt die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert dar, also 136.

3.5.2 Constant-Score

Von *C.R. Constant* 1987 auf Englisch präsentiert [10] und seit 1991 auch als deutsche Version verfügbar, gilt der Constant-Score inzwischen als Standardinstrument zur Evaluation der Schulterfunktion. Hierbei handelt es sich um einen Fragebogen, der es dem Untersucher ermöglicht, objektiv die schmerzfreie Beweglichkeit der Schulter und die Schulterkraft zu beurteilen [6;11].

Als Definition für eine normale Schulter wird dabei die Aussage herangezogen, die Constant in seiner Originalarbeit getroffen hat, nämlich, dass sie schmerzfrei sei und fähig, alle gewünschten Aktivitäten auszuführen [84].

Im Gegensatz zum DASH-Score wird die hier physische Gesundheit des Patienten erfasst, wobei die Komponenten Schmerz, Alltagsaktivität, Bewegungsausmaß und Kraft unterschieden werden. Während die beiden erstgenannten Kriterien mit 65% Anteil in den Untersuchungsbogen eingehen, entfallen die restlichen 35% auf die übrigen Parameter [6].

Die Kraftkomponente wird, gemäß dem Originalartikel, eigentlich in Pfund angegeben [10], in dieser Studie jedoch durch Werte in Newton ersetzt. Diese

Umstellung ist zurückzuführen auf die Verwendung eines modernen Kraftmessgeräts (IsoForceControl), welches im Vergleich zur ursprünglich eingesetzten Federwaage wesentlich genauere Messungen ermöglicht.

Pro Pfund (beziehungsweise 5 Newton) erreichter Abduktionskraft wird dann ein Punkt vergeben. Zu beachten ist außerdem, dass nur die schmerzfreie Beweglichkeit bewertet wird, nicht jedoch die unter Schmerzen maximal erreichte Position [6].

Auch diesem Fragebogen ist eine Skala von 100 Punkten zugrunde gelegt, wobei die Schulterfunktion bei 0 nicht mehr gegeben und bei 100 voll ausgeprägt ist [10].

Des Weiteren wird der Score an beiden Schultern des Patienten erhoben. Auf diese Art kann die Funktion der betroffenen Seite in prozentualem Anteil von der gesunden Extremität angegeben werden und erlaubt eine absolut individuelle Beurteilung unter Berücksichtigung von Geschlecht und Alter.

IV. Ergebnisse

1. Gruppe 1 – retrospektive Population

1.1 Allgemeine Datenanalyse und Untersuchung

Das im weiteren Verlauf als Gruppe 1 bezeichnete Kollektiv umfasste 30 Patienten, deren Durchschnittsalter 42,4 Jahre betrug, der älteste Patient war hierbei 70 Jahre alt und der jüngste 18 Jahre. Das weibliche Geschlecht war mit 8 Patienten vertreten und das männliche mit 22, was in etwa einer Verteilung von 1:3 entspricht.

Die einmalige Nachuntersuchung dieses Patientenguts fand zwischen 0 und 23 Monaten (Median 7,5 Monate) nach der Metallentfernung statt.

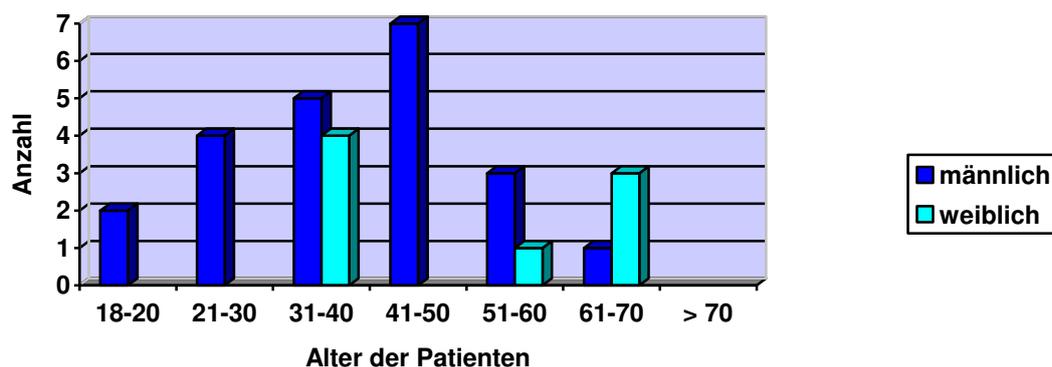


Abb. 15 Gruppe 1; Diagramm zur Altersverteilung unter Berücksichtigung des Geschlechts

Alle Brüche wurden als Klavikulafrakturen des mittleren Drittels klassifiziert und differenzierten sich in 4 einfache und 26 mehrfragmentäre Frakturen. 50% der einfachen Brüche erwiesen sich als Schrägfrakturen. Die rechte Seite war 9 Mal, die linke insgesamt 21 Mal betroffen. Am häufigsten ereignete sich die Verletzung im Rahmen von Verkehrsunfällen (43%) oder Sportunfällen (27%), gefolgt von Stürzen im Haus oder bei anderer Gelegenheit (30%). Eine genaue Aufschlüsselung der Unfallursachen und ihrer Häufigkeit in der Gruppe 1 findet sich in der nachfolgenden Tabelle.

Unfallursache	Anzahl
Verkehrsunfälle (gesamt)	13
- Fahrrad	9
- Motorrad	4
Sportunfälle (gesamt)	8
- Skifahren	4
- Fußball	2
- Reiten	2
Sonstige	9
- Treppensturz	7
- Sturz aus 2,5m Höhe	1
- Sturz bei Gehirntumor	1

Tab. 1 Unfallursachen und Häufigkeitsverteilung in Gruppe 1

Als Begleitverletzungen traten 1 Schädelbasisfraktur, in jeweils 2 Fällen eine Commotio cerebri und Rippenfrakturen sowie bei einem Patienten ein Weichteilschaden ersten Grades auf.

Die operative Stabilisierung der Fraktur erfolgte im Mittel 4 Tage (0 bis 18 Tage) nach dem Unfallereignis, wobei der Median für eine geschlossene Reposition bei 2 Tagen und im Falle der offenen Reposition bei 4 Tagen lag.

Als intramedulläres Osteosynthesematerial kam in 23 Fällen ein Titannagel der Stärke 2,5 mm zum Einsatz, bei 2 Personen mit engerem Markraum wurden schlankere Implantate (2,0 mm) verwendet sowie entsprechend dickere (3,0 mm) bei den verbliebenen 5 Patienten. Insgesamt wurden 11 geschlossene und 19 offene Repositionen vorgenommen. Die Dauer der Operationszeit belief sich im Mittel auf 63 ± 38 Minuten (22 bis 195 Minuten) und wies je nach Komplexität der Fraktur, zusätzlicher Fragment-Fixation durch Cerclage und Routine des Operators starke Schwankungen auf.

Bei Patienten, die innerhalb der ersten 3 Tage nach dem Trauma operiert wurden, ließ sich eine signifikant kürzere Operationsdauer nachweisen als bei denjenigen, die erst nach Ablauf des dritten Tages chirurgisch versorgt wurden. Der Median lag zum Vergleich bei 38 respektive 75 Minuten ($p=0,036$). Als mögliche Ursachen hierfür sind Gewebeschwellung, Weichteilinterposition und Ausprägung eines Hämatoms anzuführen, welche den Operationssitus erschweren.

Die Metallentfernung erfolgte im Durchschnitt circa 6 Monate (14 bis 44 Wochen) nach der Operation. 2 der 30 retrospektiven Patienten, die keinerlei Beschwerden mit ihrem Implantat verspüren, verzichteten freiwillig auf diesen Eingriff. Außerdem hatte die Metallentfernung zum Zeitpunkt des Follow-up bei 2 Patienten noch nicht stattgefunden, sondern wurde ein paar Wochen später durchgeführt. Revisionschirurgie war in keinem Fall notwendig.

Postoperativ konnte weder das Auftreten von Infektionen noch von Pseudarthrosen beobachtet werden. Jedoch kam es bei 9 Patienten zu einer medialen Migration des elastischen Marknagels, welcher entweder keine Beschwerden machte (2), wegen Schmerz und Hautirritation (2) oder Perforation (2) unter Lokalanästhesie gekürzt werden musste oder bei radiologisch guter knöcherner Durchbauung entfernt werden konnte (3). Als weitere Komplikationen traten postoperativ bei 3 Patienten Parästhesien im Gebiet der Narbe und des medialen Nagelendes auf und ein Patient klagte über Mißempfindungen über dem M. deltoideus.

Komplikationen	Anzahl	Bemerkung
Infektionen, Hämatome	0	
Mediale TEN-Migration		
- ohne Beschwerden	2	
- mit Dys- und Parästhesien	2	TEN-Kürzung (2)
- mit Perforation der Haut	5	TEN-Kürzung (2) ME bei ausreichender Konsolidierung (3)
Parästhesie		
- über OP-Zugang	3	
- über Deltamuskel	1	
Pseudarthrose	0	
Gesamtzahl	13	

Tab. 2 Komplikationen in der Gruppe 1

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gaben insgesamt 10 Probanden aktuelle Beschwerden an, die in der nachfolgenden Abbildung (Tab. 3) verdeutlicht werden und manchmal in Kombination erschienen. Die Parästhesien traten in allen 5 Fällen bereits postoperativ auf und sind vereinbar mit der intraoperativen Durchtrennung

von Nervenästen während des medialen Hautschnitts (3) oder der offenen Reposition (2).

Rund 75% der Patienten, die noch aktuelle Beschwerden angaben, litten auch postoperativ unter Komplikationen ($p=0,007$).

Aktuelle Beschwerden	Anzahl	Bemerkung
Schmerz		
- allgemein	5	
- bei Abduktion > 150°	1	
Parästhesie		
- über OP-Zugang	3	kombiniert mit Schmerz (1) kombiniert mit Schwäche (1)
- über Deltamuskel	2	
Schwäche der Muskulatur	1	

Tab. 3 aktuelle Beschwerden

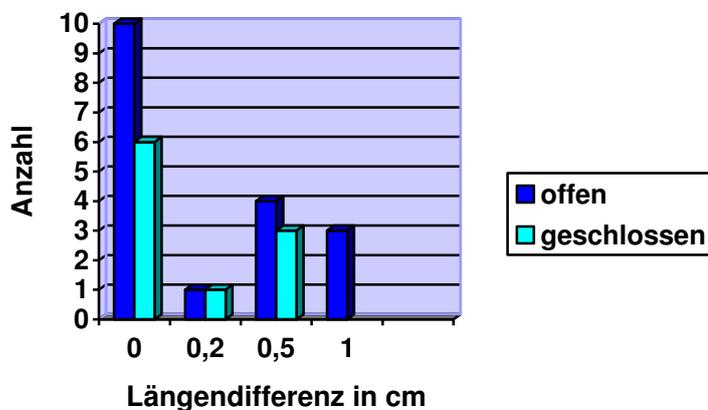


Abb. 16 die Häufigkeit der gemessenen Verkürzung, differenziert in offene bzw. geschlossene Reposition

Die Klavikulalänge der verletzten Seite betrug im Mittel $17,6 \pm 1,6$ cm, die der gesunden Seite $17,7 \pm 1,5$ cm. Während in insgesamt 12 Fällen die Fraktur mit Verkürzung (Mittelwert 0,6 cm) ausheilte, war bei 2 Patienten ein Längenzugewinn (Mittelwert 1,0 cm) zu verzeichnen. Die 16 übrigen Frakturen konsolidierten ohne

messbare Längendifferenz. Da die Evaluation der Länge subjektiv mithilfe eines Maßbandes erfolgte, ist die Validität der Methode eingeschränkt.

Hinsichtlich der Verkürzung unterteilten sich die betroffenen Schlüsselbeine in 1 einfache Schrägfraktur und 11 mehrfragmentäre Frakturen. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Daten entspricht dies einer Größenordnung von 25% aller einfachen und 44% aller Mehrfragmentfrakturen in diesem Kollektiv. Zwar verweisen *Hartmann et al.* [20] auf die Tendenz zur sekundären Verkürzung (Teleskopeffekt) bei Mehrfragmentfrakturen, doch ließ sich in der Gruppe 1 lediglich eine auffällige Diskrepanz, aber kein signifikanter Zusammenhang darstellen. Um eine Prognose ableiten zu können, würde sich eine Untersuchung mit einer größeren Fallzahl anbieten. Aufgrund der geringen Anzahl an Schrägfrakturen kann unter diesem Aspekt keine Wertung vorgenommen werden.

1.2 Radiologische Parameter

Zu den wichtigsten radiologischen Parametern zählt das Ausmaß der Dislokation, welches anhand der präoperativen Röntgenbilder bestimmt wurde. Das mediale Fragment zeigte hierbei eine durchschnittliche Dislokation von 16,2 mm (4 bis 32 mm) nach kranial. Der Grad der Dislokation hatte allerdings keine nachweisbare Auswirkung auf die Dauer des operativen Eingriffs ($p=0,676$).

Grundsätzlich lag bei 97% der Patienten eine Dislokation von mindestens einer halben Schaftbreite vor und 57% offenbarten sogar eine Fragment-Verschiebung von mehr als Schaftbreite (>15 mm). Dies ist vereinbar mit dem von *Hill et al.* [22] und *Müller et al.* [47] verwendeten Begriff der groben Dislokation und stellt damit eine klare Operationsindikation dar.

Im Rahmen der postoperativen Kontrolle war nachweisbar, dass die achsgerechte Position der Klavikula in 70% der Fälle (21 Patienten) wieder vollständig rekonstruiert werden konnte, während bei den übrigen 30% (9 Patienten) minimale Abweichungen vorlagen. Diese präsentierten sich jedoch in der radiologischen Beurteilung nach der Metallentfernung als unauffällig und nahmen keinen Einfluss auf die Schulterfunktion.

Ein weiteres Kriterium stellte die postoperative Adaptation der Fragmente durch den TEN dar. Während sich bei ausreichender Annäherung der Segmente in 36% der Fälle eine Schlüsselbein-Verkürzung manifestierte, kam es bei ungenügendem Knochenkontakt bei 57% zu einem Längenverlust. Auch wenn diesbezüglich keine Signifikanz vorlag ($p=0,403$), verweisen die Resultate dennoch auf den bereits oben erwähnten Teleskopeffekt.

Zum Zeitpunkt der Metallentfernung zeigte sich bei allen Patienten eine weitgehende bis vollständige Konsolidierung der Fraktur. Lediglich in einem Fall war der Frakturspalt noch einsehbar, was auf die vergleichsweise kurze Zeit der intramedullären Schienung (98 Tage; Minimalwert in der Gruppe 1) zurückzuführen ist. Gleichzeitig konnten keine Refrakturen beobachtet werden.

Die nachfolgende Bildserie stellt einen komplikationslosen Verlauf nach elastisch-stabiler Marknagelung mittels TEN dar.



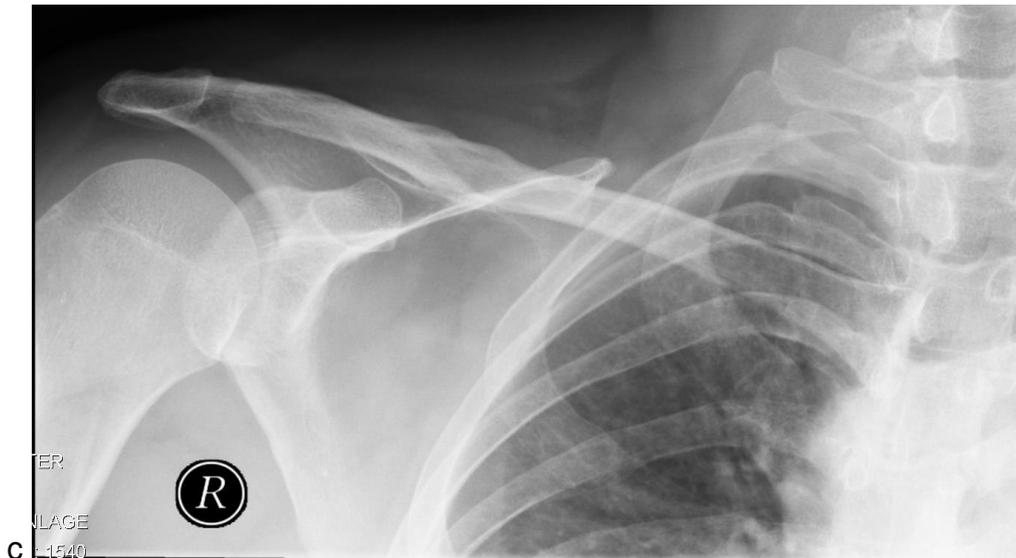


Abb. 17 a dislozierte Klavikulafraktur mit Keilfragment
 b nach elastisch-stabiler Marknagelung
 c nach Metallentfernung; vollständig konsolidiert

1.3 Funktionelles Ergebnis – Traumascores, Kraftmessung und Schmerzprofil

Zur objektiven Bewertung der Schulterfunktion wurde der Constant-Score herangezogen; das subjektive Outcome wurde mit dem DASH-Score ermittelt. Zum Zeitpunkt des Follow-up belief sich der mittlere Constant-Score aller Patienten für die betroffene Seite auf $85,6 \pm 8,8$ Punkte von maximal 100 erreichbaren Punkten, während die gesunde Gegenseite einen Wert von $90,1 \pm 5,6$ Punkten aufwies. Diese annähernd gleichen Werte für beide Extremitäten zeigen, dass es nach elastisch stabiler Markraumschienung nicht zu funktionellen Beeinträchtigungen kommt.

Der durchschnittliche DASH-Score, der sich nur auf die verletzte Extremität bezieht, lag bei $5,1 \pm 6,6$ Punkten. Die mitunter hohen Einzelwerte sind beispielsweise zurückzuführen auf höheres Lebensalter, den Grad der Fragmentierung sowie in einem Fall Non-Compliance während der frühen Konsolidierungsphase.

Für die mittels IsoForceControl separat gemessene Muskelkraft (Tab. 4) ergaben sich unten stehende Werte, anhand derer sich konstatieren lässt, dass die knöchern konsolidierte Klavikulaschaftfraktur nicht mit einem Kraftverlust in der Schulterfunktion einhergeht.

	Mittelwert	Median	Standardabweichung
DASH-Score	5,13	2,00	6,66
Constant-Score			
- betroffene Seite	85,57	85,50	8,80
- gesunde Seite	90,13	89,50	5,64
Kraftmessung			
- betroffene Seite	74,50	67,50	26,16
- gesunde Seite	77,20	76,00	28,14

Tab. 4 Traumascores und Kraftmessung

Zusätzlich wurde auf einer visuellen Analogskala (0 bis 10) (Abb. 12) der Schmerz quantitativ erfasst. Lediglich 3 Patienten gaben noch geringe Schmerzen an (VAS 1). Die Händigkeit der Patienten wurde bei der Untersuchung nicht explizit berücksichtigt, so dass im Hinblick auf Unterschiede zwischen dominanter und adominanter Seite keine Aussage getroffen werden kann.

2. Gruppe 2 – prospektive Population

2.1 Allgemeine Datenanalyse und Untersuchung

Das Patientenkollektiv der Gruppe 2 umfasste 10 Patienten, deren mittleres Alter bei 42 Jahren lag. Die Altersspanne reichte von 28 bis 51 Jahre. Bei 2 weiblichen und 8 männlichen Probanden ergab sich diesmal eine geschlechtsspezifische Verteilung von 1:4.

Die beiden Nachuntersuchungen fanden im Median 3 Monate nach der Operation sowie 3 Monate nach der Metallentfernung statt.

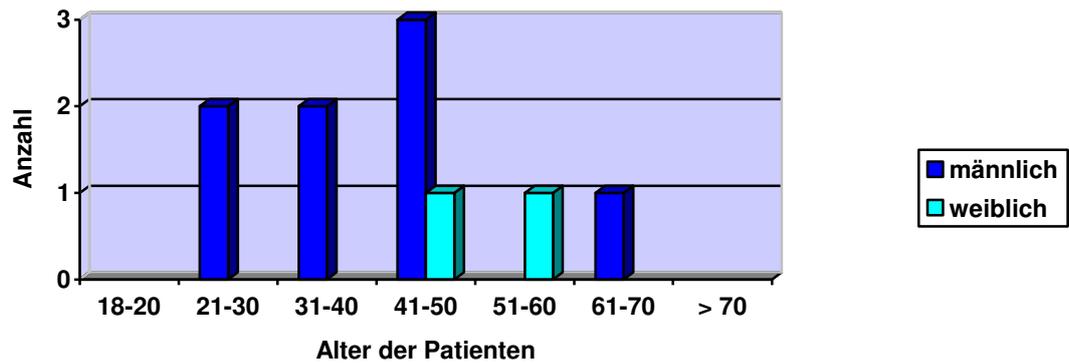


Abb. 18 Gruppe 2; Diagramm zur Altersverteilung unter Berücksichtigung des Geschlechts

Analog der Gruppe 1 waren alle Frakturen im mittleren Klavikuladrittel angesiedelt und gliederten sich in 3 einfache und 7 Mehrfragmentfrakturen, wobei die rechte Seite insgesamt 3 Mal und die linke Seite 7 Mal betroffen war. Innerhalb der einfachen Brüche lag 1 Schrägfraktur vor. Als Unfallursache ließen sich sportliche Aktivitäten (80%), Verkehrsunfälle (10%) und Stürze bei häuslicher Tätigkeit (10%) aufzeigen.

Außerdem kam es in diesem Rahmen bei zwei Patienten zu Begleittraumata, die sich in eine Commotio cerebri und eine Pfählungsverletzung am Thorax differenzieren.

Die Operation erfolgte im Median 3 Tage (0 bis 10 Tage) nach dem Unfallereignis, wobei in 2 Fällen eine offene und bei den übrigen 8 eine geschlossene Reposition vorgenommen wurde. Insgesamt konnten 70% des Patientenguts bereits innerhalb der ersten 3 Tage nach dem Trauma operativ versorgt werden. Der Median für die präoperativ vergangene Zeit lag in diesem Kollektiv für die offene Reposition bei 1,5 Tagen und für die geschlossene bei 3 Tagen.

Als Implantat wurde durchwegs ein elastischer Marknagel der Größe 2,5 mm verwendet.

Die Dauer der Operationszeit belief sich im Mittel auf 40 ± 26 Minuten (15 bis 91 Minuten), wobei die beiden offen reponierten Frakturen mit 85 respektive 91 Minuten die längsten Operationszeiten aufwiesen. Auf die Unterschiede zwischen offener und geschlossener Reposition sowie deren Auswirkungen wird im nachfolgenden Kapitel explizit eingegangen.

Innerhalb des prospektiven Kollektivs stellte sich die Operationsdauer als unabhängig ($p=0,833$) von der präoperativ vergangenen Zeit heraus und weicht damit von den Resultaten in der Gruppe 1 ab.

Die Metallentfernung wurde bei allen Patienten durchgeführt und erfolgte im Mittel nach 4,5 Monaten (9 bis 30 Wochen). Auch in der Gruppe 2 war keine Revisionschirurgie erforderlich.

Postoperative Komplikationen traten bei insgesamt 4 Patienten auf, wobei die mediale Dislokation des elastischen Marknagels mit 30% im prospektiven Gesamtkollektiv am häufigsten vorkam. Während 2 Probanden dennoch beschwerdefrei waren, musste in einem anderen Fall der Titannagel aufgrund von Parästhesien gekürzt werden. Wie der nachfolgenden Tabelle (Tab. 5) zu entnehmen ist, konnten besonders schwerwiegende Komplikationen wie Pseudarthrose, Wundinfektion oder Perforation der Haut durch das Implantat nicht beobachtet werden. Außerdem gab ein Patient Sensibilitätsstörungen im Bereich der Operationsnarbe an.

Komplikationen	Anzahl	Bemerkung
Infektionen, Hämatome	0	
Mediale TEN-Migration		
- ohne Beschwerden	2	ME bei ausreichender Konsolidierung (1) TEN-Kürzung (1)
- mit Dys- und Parästhesien	1	
- mit Perforation der Haut	0	
Parästhesie		
- über OP-Zugang	1	
- über Deltamuskel	0	
Pseudarthrose	0	
Gesamtzahl	4	

Tab. 5 Komplikationen in der Gruppe 2

Die erste Nachuntersuchung (Follow-up 1) wurde grundsätzlich vor der Metallentfernung durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt gaben alle Patienten aktuelle Beschwerden an, welche stets in direktem Zusammenhang zu dem Implantat stehen (Tab. 6). Beim Follow-up 2 waren bis auf 2 Ausnahmen alle Probanden beschwerdefrei, wobei einer dieser Patienten bereits postoperativ unter Komplikationen litt.

Aktuelle Beschwerden	Anzahl	
	Follow-up 1 (3 Monate nach OP)	Follow-up 2 (3 Monate nach ME)
Permanenter Schmerz	5	0
- Implantatschmerz	3	0
- Spannungs-/ Druckgefühl	2	1
Belastungsschmerz	4	0
Schmerz am Eintrittspunkt	1	1

Tab. 6 aktuelle Beschwerden zu den Untersuchungszeitpunkten F1 und F2

Die Klavikulalänge der betroffenen Seite stellte sich im Durchschnitt mit $17,7 \pm 1,3$ cm dar und die der gesunden Seite mit $17,6 \pm 1,0$ cm. Während 7 Frakturen ohne messbare Längendifferenz konsolidierten, kam es in einem Fall zu einer verkürzten Ausheilung (8 mm) und bei 2 weiteren Patienten zu einem Längenzugewinn (10 mm respektive 5 mm).

2.2 Radiologische Parameter

Die durchschnittliche präoperative Fragment-Dislokation lag in der Gruppe 2 bei 11,4 mm (3 bis 23 mm), wobei 80% der Patienten eine Verschiebung von mehr als halber Schaftbreite zeigten und in 40% der Fälle das mediale Segment um mindestens eine ganze Schaftbreite (>15 mm) disloziert war.

Im Rahmen der postoperativen Kontrolle zeigte sich, dass die achsgerechte Position der Klavikula in 90% der Fälle vollständig rekonstruiert werden konnte. Bei den

restlichen 10% präsentierte sich eine minimale Stufenbildung, die weder zu optischen noch funktionellen Einbußen führte.

Mithilfe des Marknagels konnte bei der Hälfte des Kollektivs ein ausreichender Kontakt der Knochenfragmente hergestellt werden. Eine in der postoperativen Beurteilung inadäquate Adaptation führte während der Konsolidierungsphase in einem Fall zu einer Verkürzung und in einem weiteren zu einer Verlängerung des betroffenen Schlüsselbeins. Aufgrund der geringen Patientenzahl lässt sich – anders als in Gruppe 1 – daraus jedoch keine Tendenz ableiten.

Zum Zeitpunkt der Metallentfernung war bei allen Patienten die Konsolidierung weitgehend bis vollständig abgeschlossen. Lediglich im Fall des Probanden mit der Implantatentfernung nach TEN-Migration zeigte sich ein einsehbarer Frakturspalt, was aber vereinbar ist mit der kurzen Verweildauer des Marknagels seit Operation (66 Tage; Minimalwert im Kollektiv). Auch in der Gruppe 2 waren keine Refrakturen zu verzeichnen.

2.3 Funktionelles Ergebnis – Traumascores, Kraftmessung und Schmerzprofil

Bei der ersten Nachuntersuchung belief sich der mittlere DASH-Score auf 19,1 Punkte und präsentierte mit 2 bis 37 Punkten eine große individuelle Spannweite. Zum Zeitpunkt des Follow-up 2 hingegen lag er im Mittel bei 7,4 Punkten (0 bis 16 Punkte), womit sich eine durchschnittliche Verbesserung um 11,4 Punkte ergibt.

Beim Vergleich der Einzelresultate zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten war bei jedem Patienten eine deutliche Besserung des subjektiven Krankheitsempfindens zu verzeichnen. Ein Beispiel mit Darstellung der Einzelwerte findet sich am Ende dieses Teilkapitels (Tab. 8).

Der durchschnittliche Constant-Score für die betroffene Seite belief sich beim Follow-up 1 auf $77,3 \pm 8,9$ Punkte, während die Gegenseite einen Wert von $88,5 \pm 4,5$ Punkten aufwies. Diese merkliche Differenz zwischen betroffener und gesunder Extremität lässt sich durch den Implantat- oder Belastungsschmerz, den alle Patienten zu diesem Zeitpunkt angaben (Tab. 6), sowie durch teilweise Bewegungseinschränkung aufgrund des Marknagels erklären.

Nach der Metallentfernung präsentierten sich die Constant-Werte als annähernd gleich (Tab. 7). Der größte funktionelle beziehungsweise qualitative Zugewinn war hierbei in den Bereichen Bewegungsausmaß (Außenrotation) und Alltagsaktivitäten (Sportausübung und Schlafen auf der betroffenen Seite) zu verzeichnen.

Zum Zeitpunkt von F1 fühlten sich 80% des Kollektivs jeweils in Schlaf und Sport beeinträchtigt, bei F2 reduzierten sich diese Beschwerden hinsichtlich Schlaf jedoch auf 10% und beim Sport auf 20%. Auch die Problematik bei der Außenrotation, die stets bei der Retroversion ab 90° Abduktion auftrat, hatte sich in allen 4 Fällen vollständig zurückgebildet.

Mittelwerte	F1	F2
DASH	19,1±12,6	7,4±7,3
VAS	0,85±0,7	0,3±0,6
Constant-Score betroffene Seite	77,3±8,9	88,5±4,9
gesunde Seite	88,5±4,5	90,3±3,4
Kraft (N) betroffene Seite	59,1±11,3	76,1±16,6
gesunde Seite	68,5±15,0	76,4±16,7

Tab. 7 Mittelwerte Traumascores, VAS und Kraft bei F1 / F2 mit SD

Genau wie beim Constant-Score, zeigte sich auch in der Kraftmessung ein auffälliger Seitenunterschied zum Zeitpunkt der ersten Datenerhebung (Tab. 7). Da die Kraftkomponente ein Bestandteil des Constant-Scores ist, trägt sie zwar zu dessen unterschiedlichen Ergebnissen bei, doch beim Follow-up 2 erreichten alle Patienten sehr ähnliche Werte für beide Extremitäten, so dass im Endeffekt kein Kraftverlust registriert werden konnte (Tab. 7). Als mögliche Ursache für die Schwäche des betroffenen Arms im Rahmen der ersten Untersuchung kann die anfängliche Ruhigstellung und Schonung der Extremität bei gleichzeitiger Abduktionsbeschränkung oder Schmerz aufgrund der Messbedingungen (Ziehen am IsoforceControl in 90° Abduktion) angesehen werden.

Hinsichtlich der Schmerzevaluation wurden für jeden Patienten 4 Werte erhoben. Während die Schmerzintensität präoperativ sehr unterschiedlich wahrgenommen wurde (2 bis 8,5 auf der VAS), bewegte sie sich am ersten postoperativen Tag im Mittel bei 3,1, was eine relevante Verbesserung signalisierte ($p=0,018$). Zum Zeitpunkt der beiden Nachuntersuchungen lag der Median bei 1 respektive 0. Im gesamten postoperativen Zeitraum ließ sich bei allen Patienten eine kontinuierliche Schmerzreduktion verzeichnen (Abb. 19). Die Veränderung wurde dabei als eine permanente Besserung beschrieben, unterlag jedoch solchen Faktoren wie individuellen Sportaktivitäten oder Schlafen auf der betroffenen Seite. Die Schmerzbeschreibung zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten ist in der Tabelle 6 als aktuelle Beschwerden zusammengefasst.

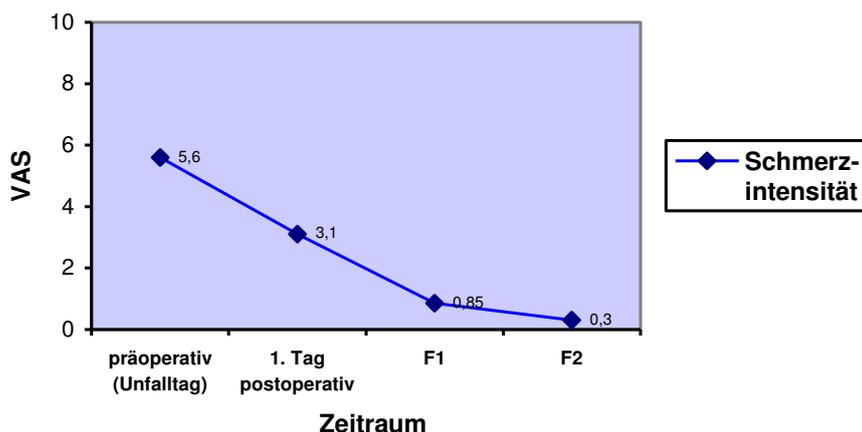


Abb. 19 Verlaufskurve Schmerz, angegeben sind Durchschnittswerte der Gruppe 2

Gleichzeitig mit dem Nachlassen des Schmerzes verbesserten sich die Resultate im Constant- und DASH-Score. Beim Vergleich der beiden Nachuntersuchungen wird ersichtlich, dass ein höherer, soll heißen schlechterer, VAS-Wert mit schlechteren Resultaten bei Constant- und DASH-Score korreliert (Abb. 20 und 21). Diese Tendenz ist beim Constant-Score auffälliger als beim DASH, da letzterer das subjektive Empfinden widerspiegelt, welches nicht immer rein auf die stattgehabte Fraktur bezogen wird.

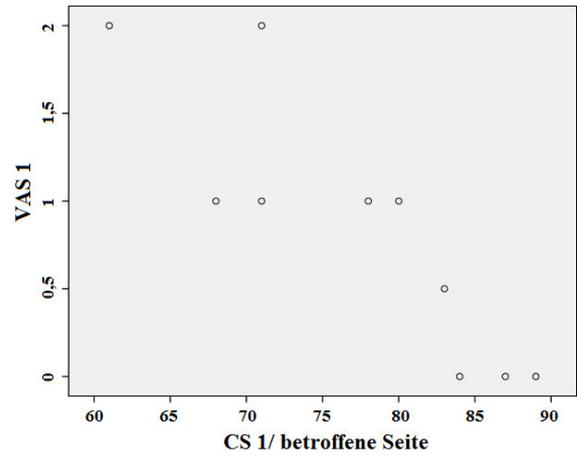
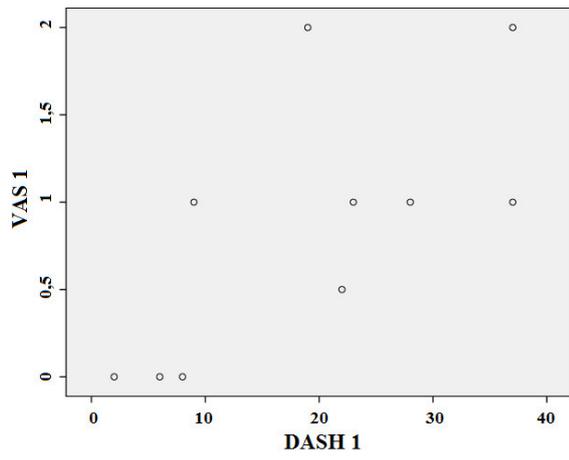


Abb. 20 F1: VAS in Relation zu DASH und Constant-Score

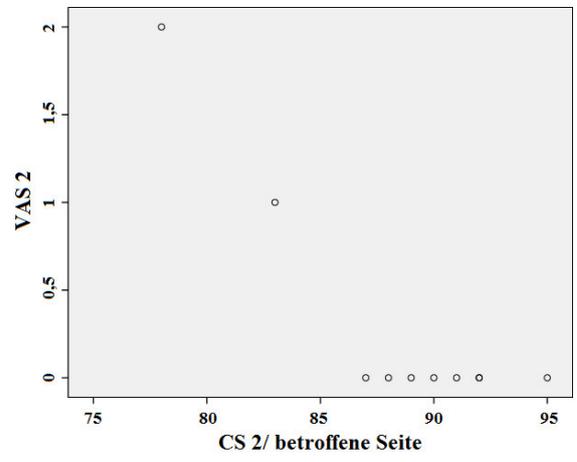
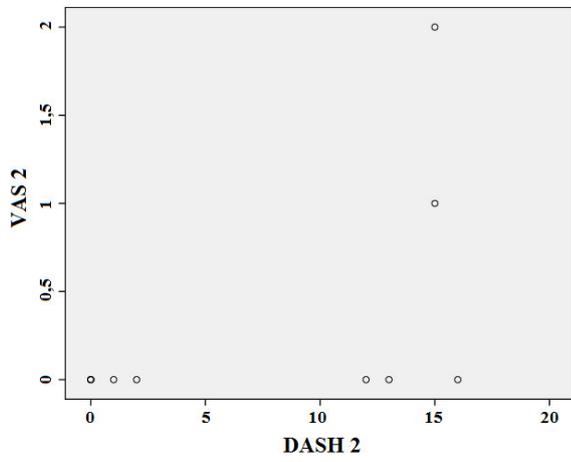


Abb. 21 F2: VAS in Relation zu DASH und Constant-Score

Allgemein betrachtet, hat sich im Rahmen des Follow-up 2 das Outcome bei allen angewendeten Scores für jeden einzelnen Patienten verbessert und ist in seinem Gesamtergebnis näher an die Resultate der retrospektiven Gruppe herangerückt.

Weil sich durch die geringe Patientenzahl in Gruppe 2 kaum eine valide Signifikanz-Testung durchführen lässt, sei der Zusammenhang der Untersuchungsparameter nochmals an folgender Tabelle veranschaulicht: Während beim weitgehend beschwerdefreien Patienten Y nur geringfügige Modifikationen auftreten, fallen die gleichsinnigen Werteveränderungen beim anfangs stärker beeinträchtigten Patienten X wesentlich demonstrativer aus.

Patient	Follow-up 1				Follow-up 2			
	DASH	CS	Kraft (N)	VAS	DASH	CS	Kraft (N)	VAS
X	37	68 / 90	49 / 77	1	0	92 / 91	83 / 81	0
Y	2	89 / 91	70 / 80	0	1	91 / 92	78 / 85	0

Tab. 8 Patientendaten im Vergleich; bei CS und Kraft ist immer zuerst die betroffene Seite angegeben

3. Vergleich zwischen offener und geschlossener Reposition im Gesamtkollektiv

3.1 Allgemeine, radiologische und funktionelle Parameter

Zusätzlich wurden die Ergebnisse der beiden Gruppen nochmals speziell auf Unterschiede nach offener beziehungsweise geschlossener Reposition untersucht.

Bei den 40 Patienten wurden insgesamt 19 geschlossene und 21 offene Repositionen vorgenommen, wobei die Operationszeit bei offenem Vorgehen mit 81 Minuten signifikant länger war als bei geschlossener Reposition mit 30,5 Minuten ($p=0$). Die Ursache hierfür ist der vorangehende frustrane Versuch der geschlossenen Reposition. Die intraoperative Durchleuchtungszeit lag dementsprechend bei 1,8 beziehungsweise 0,3 Minuten.

Das Ausmaß der Dislokation und der präoperativ verstrichene Zeitraum nahmen hingegen keinen signifikanten Einfluss auf die Art der Reposition, wobei tendenziell die geschlossene Vorgehensweise innerhalb der ersten drei Tage nach dem Trauma leichter durchzuführen scheint als danach (Tab. 9).

			Reposition		Total
			geschlossen	offen	
Zeitspanne präoperativ	< 3 Tage	Gesamt	13	10	23
		prozentualer Anteil	68,4%	47,6%	57,5%
	> 3 Tage	Gesamt	6	11	17
		prozentualer Anteil	31,6%	52,4%	42,5%

Tab. 9 Kreuztabelle: präoperativer Zeitraum und Art der Reposition

	Geschlossen (n=19)	Offen (n=21)
Alter	41,7±11,8	42,7±15,4
Geschlecht weiblich / männlich	4 / 15	6 / 15
Seite rechts / links	10 / 9	14 / 7
Dislokation (mm)	14,3±5,7	15,5±7,1
Ausheilung mit Verkürzung	5	8
Einfache / Schräge Fraktur	4 / 2	3 / 1
Mehrfragmentäre Fraktur	15	18
Parästhesie / Perforation	1 / 0	3 / 5
DASH	5,0±6,5	5,8±7,2
Constant-Score	87,4±9,0	85,3±7,2
Kraft (N)	75,7±22,1	74,2±26,0

Tab. 10 Gegenüberstellung der Resultate nach geschlossener bzw. offener Reposition mit SD

Während sich die Gesamtkomplikationsrate im Kollektiv nach geschlossen reponierter Fraktur mit 5% darstellte, präsentierte sie sich in der Vergleichsgruppe nach offener Reposition mit 38%. Die schwerwiegendste Komplikation der elastisch-stabilen Marknagelung, die Perforation der Haut bei Dislokation des TEN, trat ausschließlich nach offener Reposition auf (24%) und erwies sich als signifikantes

Merkmal ($p=0,024$). Vermutlich führen die invasive Manipulation sowie die Anzahl der Fragmente zu einer schlechteren Verankerung des Implantats im Knochen.

Bezüglich der Globalfunktion der oberen Extremität ergaben sich im Falle der geschlossen reponierten Frakturen für den Constant-Score durchschnittlich $87,4 \pm 9,0$ Punkte sowie ein DASH-Wert von $5,0 \pm 6,5$ Punkten (Median 2 Punkte). Nach offener Reposition zeigte der Constant-Score $85,3 \pm 7,2$ Punkte und der mittlere DASH-Score belief sich diesmal auf $5,8 \pm 7,2$ Punkte (Median 2 Punkte). Für keinen der beiden Traumascores ergab sich ein signifikant unterschiedliches Ergebnis.

Auch konnten weder für geschlossene noch offene Reposition im Seitenvergleich signifikante Werte für einen eventuellen Kraftverlust nachgewiesen werden. Hierdurch lässt sich konstatieren, dass die knöchern konsolidierte Klavikulaschaftfraktur nicht mit einem Kraftverlust der Schulterfunktion einhergeht. Die augenscheinliche Muskelkraft-Differenz beim Vergleich offene versus geschlossene Reposition ist einerseits zurückzuführen auf eine zu geringe Patientenfallzahl und andererseits einen ungleichen Frauenanteil in den Kollektiven (geschlossene Reposition: 21%, offene Reposition: 29%).

	Reposition	Patientenzahl	Mittelwert	Median
Kraftmessung Betroffene Seite	offen	21	74,19	65,00
	geschlossen	19	75,68	72,00
Kraftmessung gesunde Seite	offen	21	73,76	77,00
	geschlossen	19	80,58	80,00

Tab. 11 Kraftmessung in Newton für $n=40$

Zudem ließ sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem intraoperativen Vorgehen und einer Verkürzung der Klavikula nach Abschluss der Konsolidierung aufzeigen. Die prozentuale Verteilung der verschiedenen Ausheilungsformen (verkürzt – gleich bleibend – verlängert) ist in der folgenden Abbildung veranschaulicht.

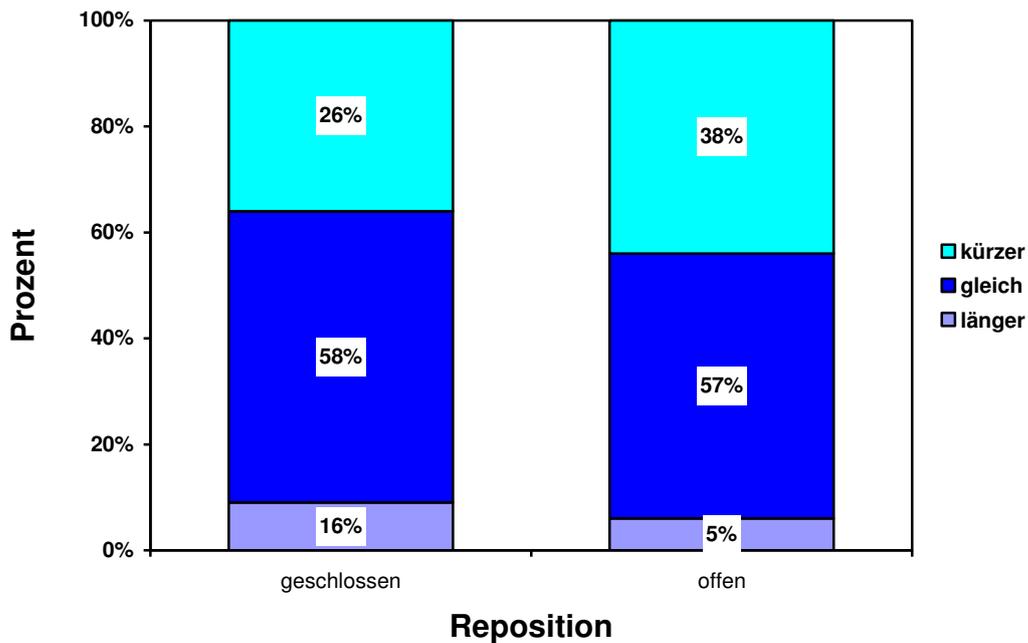


Abb. 22 Darstellung der Längen-Ausheilung in prozentualer Abhängigkeit

3.2 Kosmetisches Ergebnis

Ein weiteres Kriterium bei der Wahl der operativen Vorgehensweise stellt das kosmetische Outcome dar. Dieses wird nicht nur durch die Symmetrie des Schultergürtels bestimmt, sondern auch durch die Narbenbildung und spielt für viele Patienten – insbesondere Frauen – eine wichtige Rolle.

Die Länge des Hautschnitts über dem operativen Zugang wies eine Spanne von 0,5 bis 3,3 cm auf, die Repositionsnarbe dagegen bewegte sich in einem Größenbereich von 2,0 bis 8,5 cm. Bei 10% der Patienten kam es zur Keloidbildung über dem sternalen Zugang.

In enger Korrelation zum optischen Aspekt der Operationsmethode steht die Bewertung des Verfahrens durch die Patienten. Die Patientenzufriedenheit wurde allgemein erfragt und beruht neben dem ästhetischen Anspruch vorwiegend auf dem Fehlen von Komplikationen, aktuellen Beschwerden und den Resultaten der Traumascores. 93% der Probanden würden das angewendete Verfahren bei nochmaligem Auftreten einer Klavikulafraktur als Therapie der Wahl befürworten.



Abb. 23 kaum sichtbare Narbe nach geschlossener Reposition



Abb. 24 Narbe und Repositionsnarbe nach offener Reposition

V. Diskussion

In der Bewertung des klinischen Outcomes von Klavikulafrakturen des mittleren Drittels stehen zur objektiven Evaluation Kriterien wie röntgenologisches Ausheilungsbild, Rekonstruktion der Schulteranatomie und Bewegungsumfang zur Verfügung. Andererseits sind jedoch für die subjektive Zufriedenheit solche Charakteristika wie Schmerz oder körperliche Leistungsfähigkeit maßgeblich, da insbesondere diese häufig über die Lebensqualität des Patienten und seine Wiedereingliederung in sein berufliches und soziales Umfeld entscheiden.

Nach einer aktuellen Studie [61] wird in Deutschland ein relativ hoher Prozentsatz der Klavikulafrakturen einer operativen Stabilisierung zugeführt. Dabei nehmen 43% der befragten Kliniken bei geeignetem Frakturtyp eine intramedulläre Osteosynthese vor, wobei diese bedeutend häufiger von unfallchirurgischen Zentren durchgeführt wird als von den übrigen Kliniken. Diese Entwicklung geht konform mit den Resultaten einiger Studien [8;16;22;56;85], wonach das Auftreten von Pseudarthrosen und Langzeitbeschwerden durch adäquate operative Intervention reduziert werden kann.

Nach *Nowak et al.* [56] stellen fehlender Knochenkontakt der Fragmente, Dislokation und das Vorliegen mehrfragmentärer Frakturen eindeutige Risikofaktoren für Langzeitbeschwerden dar, weshalb diese Patienten einer operativen Stabilisierung zugeführt werden sollten. Zusätzlich betonen *Müller et al.* [48], dass nicht so sehr das Ausmaß der Dislokation, sondern vielmehr die Schmerzreduktion und Wiederherstellung der Belastbarkeit für den Eingriff sprechen sollten, da ebendies eine höhere Lebensqualität und frühe Arbeitsfähigkeit verspricht.

Bislang fanden jedoch weder die Dislokation an sich noch der Schmerz Eingang in die klassischen Operationskriterien, weshalb eine Neudefinition dieser Indikationen bedacht werden sollte. Unter Berücksichtigung der Verteilungsinzidenz in der Bevölkerung und mit der Entwicklung eines minimal-invasiven, effektiven Verfahrens zur Stabilisierung von diaphysären Klavikulafrakturen wird die Indikation zur operativen Therapie immer häufiger gestellt.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, besteht der wesentliche Unfallmechanismus der Klavikulafraktur in einer meist direkten Krafteinwirkung, wie sie bei Sport- oder Verkehrsunfällen entsteht. Analog zu dieser Annahme verteilte sich in den Gruppen 1 und 2 die Inzidenz der Fraktur auf Verkehrsunfälle (43% / 10%), Sportunfälle (27% / 80%) sowie häusliche und andere Stürze (30% / 10%). Diese Resultate korrespondieren auch mit den Theorien anderer Autoren [12;59], wonach die zunehmende Anzahl von Schlüsselbeinbrüchen einerseits bedingt wird durch den Anstieg der Verkehrsdichte und andererseits durch den inzwischen gesellschaftlich hohen Stellenwert von Sport und Freizeit. Hier tragen vor allem neue Trendsportarten und die Entwicklung von High-Tech-Sportgeräten, welche hohe Geschwindigkeiten erlauben, zu einem gesteigerten Risiko bei.

Die Geschlechtsverteilung in der gesamten Studienpopulation und ebenso in der zu Rate gezogenen Vergleichsliteratur [31;33;34;42] entsprach bei einem Überwiegen von männlichen Patienten mit 2:1 bis 3:1 in etwa der demographischen Verteilung der Fraktur.

In den eigenen beiden Studien-Kollektiven waren die mittleren präoperativen Intervalle annähernd gleich und lagen sogar unter dem durchschnittlichen Niveau von 6 - 11 Tagen aus anderen Kliniken [20;28;29;33;38]. Auch weichen die mittleren Operationszeiten mit 63 beziehungsweise 40 Minuten (Gruppe 1 / 2) kaum von den Literaturangaben (Spannbreite 45 bis 65 Minuten) ab [33;35;42;46;48]. Damit stellen die Daten, die durch die Klinik bedingt werden, eine repräsentative Ausgangsposition für spätere Vergleiche hinsichtlich des Outcome dar.

Während in der Gruppe 1 der präoperativ verstrichene Zeitraum mit einer signifikant kürzeren Operationsdauer einherging, falls der Eingriff innerhalb der ersten drei Tage erfolgte, ließ sich dieser Konsens im prospektiven Patientengut nicht nachweisen. Aufgrund der relativ geringen Patientenzahl in der Gruppe 2 ist die fehlende Signifikanz des Zusammenhangs jedoch kaum repräsentativ. Eine mögliche Rolle für diese Diskrepanz könnte die prozentuale Verteilung der Patienten spielen, da in Gruppe 2 bereits 70% vor Ablauf des dritten Tages operiert wurden, während sich das Verhältnis in der retrospektiven Population mit 53% versus 47% wesentlich ausgeglichener darstellt. Leider finden sich in anderen Publikationen keinerlei Daten zu dieser Fragestellung.

Die Verweildauer des Implantats liegt bei elastisch-stabiler Marknagelung deutlich unter derjenigen der Plattenosteosynthese. Im vorgestellten Patientengut wurde die Entfernung der Markraumschiene durchgeführt, sobald die Konsolidierung in der radiologischen Kontrolle als gesichert und ausreichend stabil galt, jedoch nicht vor Ablauf des dritten postoperativen Monats. Der durchschnittliche Zeitrahmen bewegt sich in der Literatur zwischen 4,7 und 7,6 Monaten [30;48;67;81], so dass die eigenen Ergebnisse mit 6 Monaten in Gruppe 1 und 4,5 Monaten in Gruppe 2 völlig im Normbereich liegen.

Eine Metallentfernung nach Frakturbehandlung mit der ESIN-Technik wird von unserer Klinik durchaus forciert, da durch eine mögliche Migration schwerwiegende Komplikationen wie Thorax-, Mediastinum- und Pleuraverletzungen bekannt geworden sind [28;41;71].

Hinsichtlich des funktionellen Outcomes berichten *Müller et al.* [47] bei einer Patientenzahl $n=32$ von einem mittleren Constant-Score von $95\pm 1,9$ Punkten. In der gleichen Größenordnung bewegen sich auch die Ergebnisse von *Smekal et al.* [76], die einen durchschnittlichen Constant-Score von $96\pm 3,9$ Punkte nach einem halben Jahr postoperativ und $97,9\pm 1,7$ Punkte nach 2 Jahren postoperativ publizierten. Ähnliche Resultate erzielten auch andere Arbeitsgruppen [34;42;77], wobei sich besonders *Jubel et al.* [27;28;31] um die Etablierung der elastisch-stabilen Marknagelung als Alternative zu weiteren operativen Verfahren bemühten. Eine Gegenüberstellung der verschiedenen Ergebnisse ist in der folgenden Tabelle (Tab. 12) dargestellt. Als auffallend niedrig im Vergleich präsentiert sich der prospektive Score von F1 des eigenen Patientenguts, wobei es jedoch den geringen postoperativen Zeitraum zu berücksichtigen gilt.

In diesem Zusammenhang sei auch auf die Bedeutung des Untersuchungszeitpunktes hingewiesen, da wahlweise der Operationstag oder der Termin der Metallentfernung als Ausgangspunkt in Frage kommen. In der Literatur finden sich allerdings keinerlei Angaben, wie viele Patienten am Tag der jeweiligen Nachkontrolle noch Implantat-Träger waren.

	Kettler et al. n=87	Jubel et al. n=55	Müller et al. n=33	Liu et al. n=23	Jubel et al. n=62	Eigene Ergebnisse		
						G1 n=30	G2 n=10	
							F1*	F2
CS	81±11	97,9	94,3±2	96±6,3	96,9±3,3	85,7±8,8	77,3± 8,9	88,5±4,9
Zeit ab ME OP ohne Angabe	13	12	25	12	6	10	3	3

Tab. 12 Vergleich der CS-Werte mehrerer TEN-Studien; CS in Punkten, Zeitangabe in Monaten; die Standardabweichung wird nur genannt, wo sie beschrieben war.

* alle Patienten sind Implantat-Träger

Zusätzlich ist bei der Gegenüberstellung dieser Werte unbedingt zu beachten, dass keine direkten Vergleiche zwischen den Punktezahlen gezogen werden sollten, sondern die Resultate der jeweiligen Populationen stets in Bezug zum Referenzwert der gesunden Seite betrachtet werden müssen. Dieser wird in der Regel bei Publikationen nicht genannt und stellt sich in der Gruppe 1 mit $90,1 \pm 5,6$ Punkten und in der Gruppe 2 mit $88,5 \pm 4,5$ (F1) respektive $90,3 \pm 3,4$ Punkten (F2) dar. Im Evaluationszeitraum F1 bis F2 kam es demnach zu einer eindeutigen Verbesserung der Constant-Resultate ($p=0,008$). Allgemein betrachtet, sind die Ergebnisse der Tabelle 12 in den oberen 20% der Constant-Skala angesiedelt und deuten somit ein gutes bis sehr gutes Outcome an.

Im Unterschied zur Vergleichsliteratur erfolgte in der vorliegenden Studie zusätzlich zum Constant-Score eine gesonderte Betrachtung der Muskelkraft. Weder in der Gruppe 1 noch in der Gruppe 2 / F2 konnte beim Seitenvergleich ein Defizit für die verletzte Schulter aufgedeckt werden. Hieraus ist zu schließen, dass die intramedulläre Schienung mit Titannägeln ohne Kraftverlust einhergeht. Zum Evaluationszeitpunkt F1 zeigen die Ergebnisse in der Gruppe 2 zwar noch eine deutliche Diskrepanz, doch ist diese eher auf eine konsekutive Schwäche durch Schonung der Extremität sowie implantatbedingte Schmerzen bei der Messung zurückzuführen. Nach der Implantatentfernung und bei voller Belastungsfähigkeit hatte sich dieser Unterschied bei F2 wieder ausgeglichen.

Lediglich *McKee et al.* [44] beleuchteten diesen Aspekt retrospektiv im Rahmen der konservativen Therapie und entdeckten eine Krafteinbuße in allen Bewegungsgraden, die sie jedoch mit den ebenfalls weniger gut ausgefallenen DASH- und Constant-Resultaten in Verbindung brachten.

Der DASH hingegen wurde in der Literatur häufig nur mithilfe einer Skala in seinem Verlauf dargestellt, so dass sich keine konkreten Werte ablesen lassen. Bei einigen Autoren finden sich für die Osteosynthese mit Titannägeln dennoch Resultate von 0,5 bis 10 Punkten \pm SD [35;42;47;49;77], innerhalb deren Grenzen sich auch die eigenen retrospektiven Ergebnisse bewegen. Während der Mittelwert im prospektiven Patientengut zum Zeitpunkt F1 noch bei $19,1 \pm 12,6$ Punkten lag, näherte sich das Resultat bei F2 ($7,4 \pm 7,3$ Punkte) stark demjenigen der Gruppe 1 an ($5,1 \pm 6,7$ Punkte) und demonstrierte somit eine erhebliche Verbesserung ($p=0,005$). Exakte Angaben für Constant- und vor allem DASH-Score nach Therapie mit Rucksackverband finden sich bisher nur in wenigen neueren Publikationen, da diese Assessments noch nicht lange als Standard etabliert sind. Bei Vergleichsstudien zwischen konservativer Methode und intramedullärer Schienung zeigten sich im Constant-Score signifikant bessere Werte für operatives Vorgehen: $98,0 \pm 3,6$ Punkte versus $95,1 \pm 7$ Punkte [77] beziehungsweise 97 ± 4 Punkte versus 78 ± 23 Punkte [27]. *McKee et al.* [44] eruierten für die Behandlung im Rucksackverband 71 Punkte im Constant- sowie 24,6 Punkte im DASH-Score und konnten zudem eine inverse Korrelation zwischen den beiden Scores nachweisen. Dem Vorteil der Nicht-Invasivität bei konservativem Vorgehen stehen neben hohen Pseudarthrosraten die Nachteile der häufigen Verkürzung, unzureichenden Ästhetik bei Kallusbildung sowie Schulterasymmetrie mit daraus resultierender Funktionsminderung gegenüber. *Braunstein et al.* [7] erläutern diese Problematik anhand eines repräsentativen Fallsberichts, bei dem eine zweizeitige bilaterale Schrägfraktur der Klavikula auf der einen Seite mit Rucksackverband und auf der anderen mit elastisch-stabiler Markraumschienung behandelt wurde.

Hinsichtlich der Plattenosteosynthese lassen sich in einem Vergleich mit konservativer Therapie signifikant bessere Werte sowohl im Constant- als auch im DASH-Score [3;8] aufzeigen.

Nach *Lee et al.* [40] ergab sich für ein Patientenkollektiv mit verschiedenen Plattentypen ein Constant-Score von $93,1 \pm 3,8$ Punkten, wobei allerdings für Schmerzniveau, Komplikationsrate und implantatbedingte Problematik signifikant schlechtere Werte resultierten als für die Vergleichsgruppe mit Knowles Pins (*ebenfalls intramedulläres Osteosynthese-Material, allerdings mit größerer Rigidität als TENS*). Eine vergleichsweise große Wundfläche mit potentieller Heilungsstörung, Schwächung des Knochens durch das verhältnismäßig große Implantat mit Gefahr

der Refraktur sowie eventuell verzögerte oder ausbleibende Konsolidierung [28;62;74] lassen die operative Rekonstruktion der Klavikula als sehr risikoreich erscheinen. Trotz dieser relativ schwerwiegenden Komplikationen bringt das Verfahren der Plattenosteosynthese im Allgemeinen nicht relevant schlechtere Scores hervor als die intramedulläre Schienung mittels TEN.

Jubel et al. [32] wendeten Titanium Elastic Nails auch zur Stabilisierung von Klavikulapseudarthrosen an und erbrachten funktionell und kosmetisch gute Resultate. Während auf die autologe Knochentransplantation vom Beckenkamm verzichtet werden konnte, zeigte sich die Heilungsrate nicht geringer als bei anderen in der Literatur beschriebenen Techniken.

Der am stärksten einschränkende postoperative Faktor im Leben eines Patienten ist der Schmerz, weshalb diesem Aspekt in den bisherigen Publikationen besonders viel Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Bereits *Walz et al.* [81] und *Jubel et al.* [28;29;30] veranschaulichten, dass durch die elastisch-stabile Marknagelung eine signifikante Schmerzreduktion innerhalb der ersten drei Tage postoperativ zu erlangen ist. Im eigenen prospektiven Kollektiv ließ sich dieser Effekt ebenfalls durch ein signifikantes Absinken von 5,6 auf 3,1 auf der VAS am ersten postoperativen Tag darstellen. Im Vergleich dazu verzeichneten die oben erwähnten Autoren eine Verringerung von 7,9 auf 2,4 am ersten Tag [81] und sogar von 7,2 auf 1,9 am dritten Tag [33] nach der Operation.

In diesem Zusammenhang wurde schon von *Rowe* [70] betont, dass der Schmerzfaktor bei konservativer Therapie vor allem in den ersten posttraumatischen Wochen nicht verkannt werden dürfe. Diese These wird unterstützt durch neuere Studien [7;31;81], in denen bei Verwendung des Rucksackverbands eine Schmerzreduktion generell später eintrat als bei Marknagelung mittels ESIN. Passend hierzu konnte in einer retrospektiven Betrachtung [66] gezeigt werden, dass auch Kinder über 10 Jahren eher von einer operativen Stabilisierung mit ESIN profitieren, da sie andernfalls stärker unter Schmerz, Immobilisation und deren Begleiterscheinungen leiden. Nach *Nowak et al.* [56] leiden sogar 10 Jahre nach konservativer Therapie immer noch 46% der Patienten unter Schmerz und / oder kosmetischen Defekten.

Hinsichtlich der Plattenosteosynthese ist bekannt, dass das Schmerzlevel unwesentlich höher liegt als bei intramedullärer Schienung [40; *Vergleich mit*

Knowles Pins] und die Regression langsamer, aber immer noch früher erfolgt als bei der konservativen Methode [1].

Eine nahezu vollständige Schmerzfreiheit nach intramedullärer Schienung fand sich andernorts [31;81] zwischen bereits 3 Wochen bis 6 Monaten nach der Operation, während diese in der eigenen prospektiven Studie bei kontinuierlicher Verbesserung erst nach circa 7 Monaten zu verzeichnen war. Um jedoch den Umschlagpunkt entsprechend eingrenzen zu können, sind häufige Evaluationen in kurzen Abständen notwendig.

Die sekundäre Verkürzung nach operativer Versorgung durch Titannägel wird in der Literatur mit Werten zwischen 0,2 und 1,5 cm beschrieben [31;39;81], wobei ein Längenverlust von 0,5 bis 1,0 cm im Vergleich zur gesunden Seite bereits als funktionell einschränkend und für Beschwerden relevant herausgestellt wird [22;27;81]. Dies tritt gehäuft bei konservativer Therapie mit Rucksackverband oder Armschlinge auf und wird mit Schmerz und Schwäche der betroffenen Extremität assoziiert [7;15;22;39]. *Eskola et al.* [15] beispielsweise fanden heraus, dass, unabhängig von der Behandlungsmethode, generell eine Ausheilung in Verkürzung (1 - 30 mm) signifikant mehr Schmerzen bedingt und *Smekal et al.* [76] attestierten eine positive Korrelation zwischen eindeutiger Verkürzung und hohen DASH-Werten. Ein Defizit von ≥ 1 cm führt laut *Jubel et al.* [27] zu signifikant schlechteren Ergebnissen im Constant-Score. Im Gegensatz hierzu erklärte eine andere Autorengruppe [53] die sekundäre Verkürzung zwar zur häufigsten Komplikation nach konservativer Methode, propagierte jedoch, dass diese keine klinische Bedeutung habe.

In der eigenen Studie wurden, genau wie bei *Jubel et al.* [27;29], Jugulum und Akromionspitze als Begrenzungspunkte der Längenmessung gewählt. Mit einer mittleren Verkürzung von 0,6 cm (maximal 1,2 cm) in Gruppe 1 und 0,8 cm (maximal ebenfalls 0,8 cm) in Gruppe 2 weichen unsere Daten nicht von denen anderer Autoren ab. In Relation zu der Verkürzung nach konservativer Therapie [7;22;29;39;44;77] wirkt sich die intramedulläre Schienung mit TEN positiv auf Schultersymmetrie und –funktion aus.

Obwohl sich für eine während der Konsolidierung aufgetretene Verkürzung kein Bezug zu einem der untersuchten Parameter herstellen ließ, zeigte sich im retrospektiven Patientengut ein Verkürzungstrend bei mehrfragmentären Frakturen.

Dieses als Teleskopeffekt bekannte Phänomen entsteht bei ungenügender Adaptation der Fragmente, wie es häufig bei komplexen Brüchen der Fall ist. Die elastisch-stabile intramedulläre Schienung (ESIN) versucht, durch die Kontakt-Stabilisierung der Hauptsegmente und die Stimulation einer raschen sekundären Knochenheilung dieser Erscheinung entgegenzuwirken. Als Alternative gilt die operative Versorgung mit Plattenosteosynthese, innerhalb welcher die kleineren Fragmente an die beiden Hauptbruchstücke angelagert werden können. Da auch Schrägfrakturen aufgrund ihrer Bruch-Charakteristik zu einer verkürzten Konsolidierung tendieren, favorisiert unsere Klinik in diesen Fällen eine Plattenosteosynthese.

Die Vor- und Nachteile sowie Komplikationen, die sich im Zusammenhang mit der minimal-invasiven Vorgehensweise ergeben, werden sowohl von *Rehm et al.* [67] als auch *Müller et al.* [48] eingehend dargestellt.

Als Vorteil sind mit Sicherheit die vergleichsweise geringe operative Invasivität bei gleichzeitig gutem kosmetischen Aspekt mit kleinen Narben und geringer Kallusbildung, die schnelle Schmerzreduktion bei frühzeitiger beruflicher Reintegration sowie niedrigere Implantatkosten anzuführen. Zu den negativen Phänomenen zählen lokale Irritationen im Bereich der Eintrittsstelle durch ein ungenügend gekürztes Nagelende sowie die potentielle Migration des Implantats, welche Schmerzen und schlimmstenfalls eine Perforation hervorrufen kann [28;48]. Mit einer Inzidenz von 2 - 27% stellt die Protrusion des Marknagels die häufigste Komplikation der elastisch-stabilen Marknagelung dar [20;34;38]. Als mögliche Ursache stehen ungenügende Verankerung im lateralen Fragment, mehrfragmentäre Brüche und zu umfangreiche Bewegung im Akromioklavikulargelenk in den ersten postoperativen Wochen zur Diskussion [35].

Tabelle 13 gibt die Häufigkeit der Komplikationen wieder, wie sie in den eigenen beiden Patientengruppen und den Vergleichskollektiven aufgetreten sind.

Komplikationen	Jubel et al. n=65	Kettler et al. n=55	Köstler et al. N=67	Müller et al. n=33	Smekal et al. n=30	Walz et al. n=35	Eigene Ergebnisse	
							n=30	n=10
Perforation laterale Kortikalis		12		2		1		
Mediale TEN-Migration	4	1	7	8	5	5	9 / 30	3 / 10
Oberflächliche Wundinfektion				1				
Implantatbruch				2	2			
Pseudarthrose	1	1						
Sekundäre Verkürzung >4mm	1			12	2	11	10 / 30	1 / 10

Tab. 13 Gegenüberstellung der in verschiedenen Kollektiven aufgetretenen Komplikationen

Die Pseudarthroserate des TEN-Verfahrens wird in der Literatur mit 0 - 1,8% angegeben [34;48;67;81]. So konnten beispielsweise *Köstler et al.* [38] keine ausbleibende Konsolidierung in ihrem Patientengut feststellen, während *Jubel et al.* [29] eine Pseudarthrosenbildung bei 1/58 Frakturen verzeichnen konnten. Im eigenen Kollektiv heilten alle 40 Frakturen ohne Komplikationen aus (Tab. 13). Gemessen an den Pseudarthrose-Werten nach Plattenosteosynthese, die unabhängig vom Frakturtyp bei 2,2 - 3% liegen [3;48;74], ist das Risiko bei elastischer Marknagelung deutlich geringer und liegt auch weit unter dem nach konservativer Therapie, welches mit 4,5 - 15% [69;85] zu Buche schlägt. In Relation zu diesen Angaben postulierten *White et al.* [83] bereits vor 11 Jahren die operative Vorgehensweise bei Klavikulaschaftfrakturen, die durch massive Krafteinwirkung zustande gekommen sind, da vor allem diese zu verzögerter Konsolidierung neigen. Ein kürzlich veröffentlichter systematischer Review zeigt, dass durch ein operatives Vorgehen generell eine höhere Konsolidierungsrate erzielt wird als mittels konservativer Therapie [16].

Nicht zuletzt spielt bei der Wahl des Verfahrens für die Patienten auch der kosmetische Aspekt eine entscheidende Rolle. Bei dezenter Narben (18,4±8,3 mm) am medialen Klavikulaende und einem Längsschnitt im mittleren Klavikuladrittel im Falle der offenen Reposition bietet die intramedulläre Schienung eine kosmetisch wesentlich unauffälligere Ansicht als bei Anwendung der Plattenosteosynthese. Gleichzeitig wird die Symmetrie des Schultergürtels ohne Kallus- oder Wulstbildung erhalten, was im Rahmen der konservativen Therapie oft nicht gelingt. In einigen Studien zur Patientenzufriedenheit schnitt die Therapie mittels elastischer Titannägel

signifikant besser ab als der Einsatz des Rucksackverbandes [27;31;33], wobei der Art der Reposition keine Bedeutung zukam. Analog hierzu sprechen sich 93% der Patienten im eigenen Kollektiv positiv für die intramedulläre Schienung aus.

Eine Differenzierung zwischen offener und geschlossener Reposition und getrennte Darstellung der Ergebnisse wie beim eigenen Patientengut wurde von keinen anderen Autoren unternommen. Gleichwohl werden in manchen Publikationen [35;46;48] differenzierte Operationszeiten angegeben (Tab. 14). Auch in diesen Kollektiven war die Operationsdauer bei offener Stabilisierung signifikant länger, da zuvor ein frustraner Versuch der geschlossenen Reposition unternommen worden war. Der prozentuale Anteil von offenem Vorgehen zeigt mit 13,3% bis 80% eine sehr große Spannweite [20;29;34;38;46;67;76;81], die sich durch viele Einflußgrößen wie beispielsweise Frakturform, Frakturalter und Erfahrung des Chirurgen erklären lässt. Im eigenen Patientengut war die offene Reposition mit 52,5% vertreten.

	Meier et al. n=14	Müller et al. n=33	Kettler et al. n=55	eigene Resultate n=40
OP-Dauer bei				
- Reposition offen	84 (37-123)	56,6±13,3	61±21	80,8±35,9
- Reposition geschlossen	39 (20-60)	35,2±13,7	33±22	30,5±8,5

Tab. 14 Operationszeiten offene vs. geschlossene Reposition in Minuten

Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (im Mittel 8 Monate nach Metallentfernung) belief sich der mittlere Constant-Score von allen 40 Patienten auf 86,3±8,1 Punkte und der DASH auf 5,4±6,8 Punkte. Bei der Gegenüberstellung der Fragebogen-Resultate nach offener beziehungsweise geschlossener Reposition ließen sich jedoch keine Unterschiede bezüglich Funktionsfähigkeit im Alltag oder subjektiver Beurteilung nachweisen.

Explizite Vergleichswerte zur Messung der Muskelkraft wurden in der zu Rate gezogenen Literatur leider nicht beschrieben, da diese für gewöhnlich in den Constant-Gesamtwert einfließt. Hinsichtlich der Kraftunterschiede nach offener respektive geschlossener Reposition lässt sich aktuell aufgrund der geringen Fallzahl und des ungleichen Frauenanteils keine verbindliche Aussage ableiten. Auch das

durchschnittliche Alter ist mit 42 Jahren pro Gruppe gleich. *Köstler et al.* [38] erwähnen jedoch, dass die Zeitspanne zwischen Unfallereignis und Operation im Falle einer geschlossenen Reposition durchschnittlich 7 Tage und bei einer offen reponierten Fraktur 13 Tage betrug, während *Meier et al.* [46] ab dem siebten posttraumatischen Tag keine geschlossene Reposition mehr bewerkstelligen konnten. Als Pendant finden sich in den hier vorgestellten Daten als Median 2 respektive 4 Tage, ohne statistische Signifikanz aufzuweisen. Im Gegensatz zu *Müller et al.* [48] ließ sich keine positive Korrelation zwischen offener Reposition und präoperativ vergangener Zeit nachweisen.

Für beide Operationsvarianten lassen sich insgesamt gute bis sehr gute Ergebnisse im Constant- und DASH-Score darstellen.

Unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung aller aufgetretenen Komplikationen auf die beiden Vergleichsgruppen zeigte sich für die Perforation bei medialer Migration ein statistisch relevanter Zusammenhang mit der offenen Reposition. Trotz der geringen Patientenzahl von n=21 bildet dies mit einer Inzidenz von 24% einen auffälligen Trend.

In diesem Zusammenhang sollte die Komplikationsrate der Plattenosteosynthese, welche bei bis zu 23% liegt [81], individuell gegen die Möglichkeit einer Markhöhlen-Infektion durch die Perforation sowie eine eventuell erforderliche Reoperation bei noch vorhandener Frakturinstabilität abgewogen werden.

Wie außerdem die Untersuchungsergebnisse andeuten, sollten die Patienten innerhalb der ersten drei Tage nach dem Trauma operiert werden, da in diesem Zeitraum tendenziell häufiger die geschlossene Reposition gelang (68,4%). Diese erbrachte funktionell zwar das gleich gute Outcome wie ein offenes Vorgehen, war jedoch weniger mit postoperativen Komplikationen wie der Perforation bei TEN-Migration behaftet. Gleichzeitig trat nach geschlossener Reposition in geringerem Prozentsatz eine Verkürzung ein. Auch wenn diesbezüglich keine Signifikanz bestand, ist diese günstigere Form der Marknagelung anzustreben. Vereinbar mit diesem Trend war in der Gruppe 1 die Operationszeit bei einem frühzeitigen Eingriff – wohl aufgrund geringerer Weichteilinterposition und Hämatombildung – eindeutig kürzer.

Eine prognostische Aussage, ob eine geschlossene Reposition mittels TEN durchgeführt werden kann oder ob eine offene Reposition erfolgen muss, lässt sich

präoperativ allerdings nicht darlegen. Bei Frakturen mit einem großen Zwischenfragment war jedoch stets eine offene Einstellung von Nöten. In unserer Klinik musste im Zeitraum von Januar 2008 bis Juli 2009 bei geplanter Osteosynthese mittels Titanium Elastic Nail in 7% der Fälle auf eine Plattenosteosynthese nach frustraner offener Reposition umgestiegen werden.

Auch ist noch nicht eindeutig geklärt, welcher Versorgung mehrfragmentäre Frakturen (OTA-Klassifikation Typ C) zugeführt werden sollen. *Müller et al.* [48] bescheinigten dem Vorhandensein von Typ C-Frakturen eine Einflussnahme auf die Rate der offen durchgeführten Repositionen und *Rehm et al.* [67] empfehlen grundsätzlich ein offenes Vorgehen bei langen Schrägfrakturen oder solchen mit ausgesprengtem Keil, da diese großen Elemente nur schwer auf den TEN aufzufädeln sind. Eine von *Smekal et al.* [77] erhobene Subgruppen-Analyse wiederum ergab, dass im Hinblick auf funktionelle Ausheilung besonders mehrfragmentäre Frakturen mit mäßiger posttraumatischer Verkürzung (unter 7% Längeneinbusse) von elastisch-stabiler Marknagelung profitieren, während andernfalls die Plattenosteosynthese indiziert ist.

In manchen Publikationen galt die Typ C-Fraktur als Ausschlußkriterium [20;27;33;67], doch im eigenen Kollektiv von insgesamt 40 Patienten konnten Mehrfragmentfrakturen in gleicher Zahl offen und geschlossen reponiert werden und auch im Outcome zeigten sich bezüglich der Frakturform keine Unterschiede. Um die Theorie des Teleskopeffekts zu überprüfen, der mit dieser Frakturart sowie ungenügender Fragment-Adaptation im Rahmen des Verfahrens in Zusammenhang gebracht wird, würde sich eine Studie mit größerer Fallzahl und valider Evaluation der potentiellen Längenänderung mittels Schulterpanoramaaufnahme anbieten.

VI. Zusammenfassung

Die diaphysäre Klavikulafraktur gilt als eine der häufigsten Frakturen im Bereich des Schultergürtels, welche ein breites klinisches Erscheinungsbild zeigt und in Abhängigkeit davon unterschiedliche therapeutische Ansprüche stellt.

Als klassische Behandlungsmethoden sind der Rucksackverband sowie die Plattenosteosynthese bekannt, wobei die Operationsindikationen relativ klar definiert sind. Andere intramedullär angewendete Materialien, die im Gegensatz zur ESIN-Technik auf einer Verankerung in der Kortikalis beruhen, hatten sich wegen der teils gravierenden Komplikationen nicht durchsetzen können [71;73].

Inzwischen liegen zahlreiche wissenschaftliche Veröffentlichungen vor, in denen verschiedene Arbeitsgruppen das Verfahren der intramedullären Osteosynthese mit Titanium Elastic Nails erfolgreich anwendeten und ihre Resultate präsentierten [20;29;33;34;38;49;76;81].

In unserer Studie wurden insgesamt 40 Patienten mit singulärer dislozierter Klavikulaschaftfraktur erfolgreich mit elastisch-stabiler Marknagelung behandelt. In Übereinstimmung mit den oben genannten Publikationen zeigten die Ergebnisse ein gutes bis sehr gutes Outcome hinsichtlich der angewendeten Traumascores mit Wiederherstellung von Kraft, Beweglichkeit und vorangegangenen Aktivitätsniveau. Ebenso ließ sich eine rasche und effektive Schmerzreduktion postoperativ feststellen, die signifikant besser erfolgte als nach konservativer Therapie oder Plattenosteosynthese.

Aufgrund der statistischen Auswertung verschiedener Zusammenhänge empfiehlt sich ein operatives Eingreifen innerhalb der ersten drei Tage nach dem Trauma, da die Chance zur geschlossenen Reposition in diesem Zeitraum größer zu sein scheint. Auch wenn sich für die offene Reposition gleich gute Ergebnisse in DASH- und Constant-Score sowie Schmerzregression ergaben, fiel nur hier eine Perforation der Haut durch den nach medial dislozierten Marknagel auf. Ein Bezug zu einer Frakturform ließ sich bei dieser Komplikation aber wegen des geringen Prozentsatzes nicht ableiten.

Zusätzlich zeigte sich noch eine signifikant längere Operationszeit bei offener Reposition, die vom vorangehenden frustranen Versuch des geschlossenen

Vorgehens herrührt. Im Rahmen einer separat durchgeführten Kraftmessung ließ sich auch kein Kraftverlust in der verletzten Schulter durch die angewendete Osteosynthese oder die Art der Reposition nachweisen. Das Ausmaß der Dislokation stellte ebenfalls keinen Einflußfaktor dar.

Im prospektiven Patientengut kam es zwischen den beiden Untersuchungszeitpunkten zu eindeutigen Verbesserungen in Constant- und DASH-Score. Beschwerden äußerten sich in der Regel als implantatbedingter Schmerz oder neurologische Symptomatik, wobei letztere durch ein prominentes Nagelende oder die intraoperative Durchtrennung von Hautnerven zustande kam.

Für eine während der Konsolidierung aufgetretene Verkürzung der Klavikula ließ sich kein Bezug zu einem der untersuchten Parameter herstellen. Es fand sich eine verstärkte Tendenz bei ungenügender Adaption der Fragmente sowie komplexen Brüchen, welche aber bisher von keinem therapeutischen Verfahren weitestgehend verhindert werden konnte. Gleichwohl scheint sich diese durch die Morphologie der Fraktur bedingte Problematik durch operative Stabilisierung besser eindämmen zu lassen als durch konservative Therapie [15;22;31;77;81].

Nach wie vor bleibt die Entscheidung zum Eingriff und die Wahl des Verfahrens dem Standard der jeweiligen Klinik überlassen, da auch die ESIN-Technik aufgrund der Zahl offener Repositionen und daraus sowie allgemein resultierender Komplikationen nicht frei bleibt von negativen Phänomenen.

In unserer Klinik konnten neben einfachen auch komplexe, mehrfragmentäre Frakturen erfolgreich operiert werden. Eine entscheidende Bedeutung zur Vermeidung von Komplikationen, insbesondere im Fall der offenen Reposition, kommt hierbei der zweiwöchigen postoperativen Ruhigstellung in der Armschlinge sowie dem anfänglichen Abduktionsverbot über 90° zu. Die Compliance der Patienten sollte dahingehend durch entsprechende Aufklärung sichergestellt werden.

In Übereinstimmung mit *Rehm et al.* [67] lässt sich eine präoperative Prognose nur in Bezug auf Frakturen mit großem ausgesprengten Keil ableiten. Diese bedurften stets einer offenen Reposition. Bei entsprechender Frakturform und nach vergeblicher geschlossener Reposition bietet sich daher alternativ zu offenem Vorgehen ein Verfahrenswechsel zur Plattenosteosynthese an, wobei deren breites Komplikationsspektrum zu berücksichtigen ist. Auch lange Schrägfrakturen werden in unserer Klinik aufgrund ihrer Verkürzungstendenz auf diese Art therapiert.

Als Grenzfall für die Anwendung von ESIN können die nicht-dislozierten, einfachen Frakturen angesehen werden, bei denen üblicherweise die Retention im Rucksackverband erfolgt. Hier sollte die Entscheidung je nach Patientenanspruch ausfallen.

Als Fazit für die Praxis stellt sich die Osteosynthese mittels elastisch-stabiler Marknagelung als eine gewebeschonende Methode dar, die bei rascher Schmerzlinderung und frühzeitiger Belastungsstabilität ein gutes funktionelles und kosmetisches Outcome bietet. Als minimal-invasiver Eingriff mit akzeptablem Operationsrisiko bildet sie bei Verwendung von TEN einen guten Mittelweg zwischen der von Spätfolgen belasteten Methode des Rucksackverbandes und der invasiven und komplikationsreichen Plattenosteosynthese.

Vor dem Hintergrund der wenig zufriedenstellenden Resultate nach konservativer Therapie [7;22] sprechen auch günstige Materialkosten und kurze stationäre Aufenthalte für die künftige Anwendung der elastisch-stabilen Marknagelung.

Als kalkulierbare Komplikation ist die mediale Migration des TEN mit konsekutiver Parästhesie anzusehen, die sich bei postoperativ gegebener Übungsstabilität durch zu geringe Eindringtiefe des Marknagels sowie leichte Implantatdislokation bei Rotationsbelastung der Klavikula erklären lässt. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, begrenzten wir den Bewegungsradius auf maximal 90° Abduktion bis zur sechsten postoperativen Woche, wie es von anderen publizierten Serien bei gleicher Problematik empfohlen wird [27;48;67]. Auch eine frühzeitige Operation, das manuelle Einbringen des Marknagels sowie die Implantatentfernung nach radiologischer Konsolidierung helfen, das Komplikationsrisiko weiter zu senken.

Unter Berücksichtigung aller Empfehlungen könnte sich die intramedulläre Osteosynthese mittels Titanium Elastic Nails vor allem für junge, sportlich aktive Patienten mit hohen funktionellen Ansprüchen als neue state-of-the-art-Therapie etablieren.

VII. Literaturverzeichnis

1. Ali Khan MA, Lucas HK
Plating of fractures of the middle third of the clavicle
Injury 1978; 9: 263-267
2. Allman F
Fractures and ligamentous injuries of the clavicle and its articulation
J Bone Joint Surg Am 1967; 49: 774-784
3. Altamimi S, McKee M and the Canadian Orthopaedic Trauma Society
Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced clavicle fractures. Surgical technique
J Bone Joint Surg Am 2008; 90: 1-8
4. Andermahr J, Jubel A, Elsner A, Johann J, Prokop A, Rehm KE, Koebke J
Anatomy of the clavicle and the intramedullary nailing of midclavicular fractures
Clin Anat 2007; 20: 48-56
5. Andersen K, Østergaard Jensen P, Lauritzen J
Treatment of clavicular fractures: figure-of-eight bandage versus a simple sling
Acta Orthop Scand 1987; 57: 71-74
6. Boehm D, Wollmerstedt N, Doesch M, Handwerker M, Mehling E, Gohlke F
Entwicklung eines Fragebogens basierend auf dem Constant-Score zur
Selbstevaluation der Schulterfunktion durch den Patienten
Unfallchirurg 2004; 107: 397-402
7. Braunstein V, Kirchoff C, Buhmann S, Mutschler W, Biberthaler P
Zweizeitige bilaterale Klavikulafraktur
Konservative vs. operative Therapie mittels intramedullärer Osteosynthese –
Fallbericht
Orthopäde 2007; 36: 757-760

8. Canadian Orthopaedic Trauma Society
Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures. A multicenter, randomized clinical trial
J Bone Joint Surg Am 2007; 89: 1-10
9. Chalidis B, Sachinis N, Samoladas E, Dimitriou C, Christodoulou A, Pournaras J
Acute management of clavicle fractures: a long term functional outcome study
Acta Orthop Belg 2008; 74: 303-307
10. Constant C, Murley A
A clinical method of functional assessment of the shoulder
Clin Orthop Relat Res 1987; 214: 160-164
11. Constant CR
Schulterfunktionsbeurteilung (Übersetzung von P. Späth)
Orthopäde 1991; 20: 289-294
12. Court-Brown CM, Wood AM, Aitken S
The epidemiology of acute sports-related fractures in adults
Injury, Int. j. care injured 2008; 39: 1365-1372
13. Denard P, Koval K, Cantu R, Weinstein J
Management of midshaft clavicle fractures in adults
Am J Orthop 2005; 34(11): 527-536
14. Dietz H, Schmittbecher P, Illing P (Hrsg.)
Intramedulläre Osteosynthese im Wachstumsalter
München Wien Baltimore: Urban&Schwarzenberg, 1997
15. Eskola A, Vainionpää S, Myllynen P, Pätäälä H, Rokkanen P
Outcome of clavicular fracture in 89 patients
Arch Orthop Trauma Surg 1986; 105: 337-338

16. Felder-Puig R, Mathis S, Pelinka H, Mittermayr T, Pieske O
Klavikulaschaftfrakturen
Ein systematischer Review zu verschiedenen Therapiekonzepten
Unfallchirurg 2010; doi: 10.1007/s00113-010-1823-7
17. Germann G, Harth A, Wind G, Demir E
Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des „Disability of Arm, Shoulder and Hand“ (DASH)-Fragebogens zur Outcome-Messung an der oberen Extremität
Unfallchirurg 2003; 106: 13-19
18. Grassi FA, Tajana MS, D'Angelo F
Management of midclavicular fractures: comparison between nonoperative treatment and open intramedullary fixation in 80 patients
J Trauma 2001; 50: 1096-1100
19. Harth A, Becker M, Jester A, Schumacher K, Germann G
DASH-Fragebogen zur Outcome-Messung an der oberen Extremität
Trauma Berufskrankh 2008; 10: 84-89
20. Hartmann F, Hessmann M, Gercek E, Kuchle R, Rommens P
Die minimalinvasive antegrade elastische intramedulläre Nagelung (ESIN) bei dislozierten Klavikulaschaftfrakturen
Aktuelle Traumatol 2007; 37: 41-45
21. Hessmann M, Kirchner R, Baumgärtel F, Gehling H, Gotzel L
Treatment of unstable distal clavicular fractures with and without lesions of the acromioclavicular joint
Injury 1996; 27(1): 47-52
22. Hill J, McGuire M, Crosby L
Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results
J Bone Joint Surg Br 1997; 79-B: 537-539

23. Hudak P, Amadio P, Bombardier C, UECG
Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand)
Am J Ind Med 1996; 29: 602-608

24. Hunter JB (1999)
The Titanium Elastic Nail
Clinical Zone, www.aofoundation.org (Stand 03.08.2009)

25. Huskisson EC
Measurement of pain
The Lancet 1974; 2: 1127-1131

26. Jeray KJ
Acute midshaft clavicular fracture
J Am Acad Orthop Surg 2007; 15: 239-248

27. Jubel A, Andermahr J, Faymonville C, Binnebösel M, Prokop A, Rehm K
Wiederherstellung der Symmetrie des Schultergürtels bei Klavikulafrakturen
Chirurg 2002; 73: 978-981

28. Jubel A, Andermahr J, Schiffer G, Rehm K
Die Technik der intramedullären Osteosynthese der Klavikula mit elastischen Titannägeln
Unfallchirurg 2002; 105: 511-516

29. Jubel A, Andermahr J, Schiffer G, Tsironis K, Rehm K
Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures with a titanium nail
Clin Orthop Relat Res 2003; 408: 279-285

30. Jubel A, Andermahr J, Bergmann H, Prokop A, Rehm KE
Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures in athletes
Br J Sports Med 2003; 37: 480-484

31. Jubel A, Andermahr J, Prokop A, Lee JI, Schiffer G, Rehm KE
Die Behandlung der diaphysären Klavikulafraktur
Unfallchirurg 2005; 108: 707-714
32. Jubel A, Andermahr J, Weißhaar G, Schiffer G, Prokop A, Rehm K
Die intramedulläre Nagelung (ESIN) von Klavikulapseudarthrosen
Unfallchirurg 2005; 108: 544-550
33. Jubel A, Andermahr J, Rehm K
Intramedulläre Schienung von Klavikulafrakturen
Trauma Berufskrankh 2008; 10[Suppl 1]: 47-52
34. Kettler M, Schieker M, Braunstein V, König M, Mutschler W
Die minimalinvasive elastische Markraumschienung mit Titannägeln zur
Therapie von dislozierten Klavikulafrakturen – Technik und Ergebnisse bei 55
Anwendungen
Aktuelle Traumatol 2005; 35: 303-307
35. Kettler M, Schieker M, Braunstein V, König M, Mutschler W
Flexible intramedullary nailing for stabilization of displaced midshaft clavicle
fractures
Technique and results in 87 patients
Acta Orthop 2007; 78: 424-429
36. Khan K, Bradnock TJ, Scott C, Robinson CM
Fractures of the clavicle
J Bone Joint Surg Am 2009; 91: 447-460
37. Kim W, McKee M, FRCS(C)
Management of acute clavicle fractures
Orthop Clin N Am 2008; 39: 491-505

38. Köstler W, Strohm P, Jäger M, Südkamp N
Die Versorgung der Klavikulafraktur mit der elastischen Markraumschienung –
Freiburger Erfahrungen
Aktuelle Traumatol 2005; 35: 308-311
39. Lazarides S, Zafiropoulos G
Conservative treatment of fractures at the middle third of the clavicle: the
relevance of shortening and clinical outcome
J Shoulder Elbow Surg 2006; 15: 191-194
40. Lee YS, Huang HL, Lo TY, Hsieh YF, Huang CR
Surgical treatment of midclavicular fractures: a prospective comparison of
Knowles pinning and plate fixation
SICOT 2008; 32: 541-545
41. Ligier JN, Metaizeau JP, Prévot J, Lascombes P
Elastic stable intramedullary nailing of femoral shaft fractures in children
J Bone Joint Surg Br 1988; 70-B: 74-77
42. Liu PC, Chien SH, Chen JC, Hsieh CH, Chou PH, Lu CC
Minimally invasive fixation of displaced midclavicular fractures with Titanium
Elastic Nails
J Orthop Trauma 2010; 24: 217-223
43. MacDermid JC, Richards RS, Donner A, Bellamy N, Roth J
Responsiveness of the Short Form-36, Disability of the Arm, Shoulder and Hand
Questionnaire, Patient-Rated Wrist Evaluation, and Physical Impairment
Measurements in evaluating recovery after a distal radius fracture
J Hand Surg Am 2000; 25A: 330-340
44. McKee MD, Pedersen EM, Jones C, Stephens DJG, Kreder HJ, Schemitsch EH,
Wild LM, Potter J
Deficits following nonoperative treatment of displaced midshaft clavicular
fractures
J Bone Joint Surg Am 2006; 88: 35-40

45. MDS Medical Device Solutions AG, Oberburg/ Schweiz
IsoForceControl: Muskelkraftanalysegerät zur Messung der Muskelkraft, Manual
Deutsche Ausgabe 1.1; April 2007
46. Meier C, Grueninger P, Platz A
Elastic stable intramedullary nailing for midclavicular fractures in athletes:
Indications, technical pitfalls and early results
Acta Orthop Belg 2006; 72: 269-275
47. Müller M, Burger C, Florczyk A, Striepens N, Rangger C
Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures in adults
Acta Orthop 2007; 78: 421-423
48. Müller M, Burger C, Florczyk A, Striepens N, Rangger C
Elastischer Titannagel zur minimal-invasiven Osteosynthese der
Klavikulaschaftfraktur
Chirurg 2007; 78: 349-355
49. Müller M, Rangger C, Striepens N, Burger C
Minimally invasive intramedullary nailing of midshaft clavicular fractures using
Titanium Elastic Nails
J Trauma 2008; 64: 1528-1534
50. Neer CS
Nonunion of the clavicle
JAMA 1960; 172: 1006-1011
51. Neer CS
Fractures of the clavicle
In: „Fractures in adults”, Rockwood CA Jr, Green DP (Eds.)
Philadelphia: Lippincott 1984, 2. Edition; 707-713
52. Nordqvist A, Petersson C
The incidence of fractures of the clavicle
Clin Orthop Relat Res 1994; 300: 127-132

53. Nordqvist A, Redlund-Johnell I, v. Scheele A, Petersson CJ
Shortening of clavicle after fracture
Incidence and clinical significance, a 5-year follow-up of 85 patients
Acta Orthop Scand 1997; 68: 349-351
54. Nordqvist A, Petersson C, Redlund-Johnell I
Mid-clavicle fractures in adults: end result study after conservative treatment
J Orthop Trauma 1998; 12: 572-576
55. Nowak J, Mallmin H, Larsson S
The aetiology and epidemiology of clavicular fractures
A prospective study during a two-year period in Uppsala, Sweden
Injury 2000; 31: 353-358
56. Nowak J, Holgersson M, Larsson S
Can we predict longterm-sequelae after fractures of the clavicle based on initial findings? A prospective study with nine to ten years of follow-up
J Shoulder Elbow Surg 2004; 13: 479-486
57. Offenbächer M, Ewert T, Sangha O, Stucki O
Validation of a German version of the „Disabilities of Arm, Shoulder and Hand“ questionnaire (DASH-G)
Z Rheumatol 2003; 62: 168-177
58. Orthopaedic Trauma Association Committee for Coding and Classification
Fracture and dislocation compendium
J Orthop Trauma 1996; 10: V-IX: 1-154
59. Pannike A
Claviculafrakturen – Entstehung, Einteilung, Diagnose
Hefte Unfallheilkd 1982; 160: 45-54

60. Pecci M, Kreher JB
Clavicle fractures
Am Fam Physician 2008; 77: 65-70
61. Pieske O, Dang M, Zaspel J, Beyer B, Löffler T, Piltz S
Die Klavikulaschaftfraktur – Klassifikation und Therapie
Unfallchirurg 2008; 111: 387-394
62. Poigenfürst J, Rappold G, Fischer W
Plating of fresh clavicular fractures: results of 122 operations
Injury 1992; 23: 237-241
63. Postacchini F, Gumina S, De Santis P, Albo F
Epidemiology of clavicle fractures
J Shoulder Elbow Surg 2002; 11: 452-456
64. Post M
Current concepts in the treatment of fractures of the clavicle
Clin Orthop Relat Res 1989; 245: 89-101
65. Preston CF, Egol KA
Midshaft clavicle fractures in adults
Bull NYU Hosp Jt Dis 2009; 67: 52-57
66. Prinz KS, Rapp M, Kraus R, Wessel LM, Kaiser MM
Dislocated midclavicular fractures in children and adolescents: who benefits
from operative treatment?
Z Orthop Unfall 2010; 148: 60-65
67. Rehm K, Andermahr J, Jubel A
Die intramedulläre Osteosynthese der Klavikulafraktur mit einem elastischen
Titannagel
Oper Orthop Traumatol 2004; 4: 365-379

68. Robinson CM
Fractures of the clavicle in adults
J Bone Joint Surg Br 1998; 80-B: 476-484
69. Robinson CM, Court-Brown CM, McQueen MM, Wakefield AE
Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture
J Bone Joint Surg Am 2004; 86: 1359-1365
70. Rowe C
An atlas of anatomy and treatment of midclavicular fractures
Clin Orthop Relat Res 1968; 58: 29-42
71. Schindele S, Hackenbruch W, Sutte F, Scharer M, Leutenegger A
Migration von Kirschner-Drähten nach operativer Stabilisierung von Verletzungen im Bereich der Schulter – vier Fallberichte
Swiss Surg 1999; 5: 281-287
72. Schmit-Neuerburg KP, Weiß H
Konservative Therapie und Behandlungsergebnisse der Claviculafrakturen
Hefte Unfallheilkd 1982; 160: 55-75
73. Schwarz N, Leixnering M
Die Misserfolge der Klavikulamarkdrahtung und ihre Ursachen
Akt Traumatol 1984; 14: 159-163
74. Shen WJ, Liu TS, Shen YS
Plate fixation of fresh displaced midshaft clavicle fractures
Injury, Int. j. care injured 1999; 30: 497-500
75. Slongo TF
Complications and failures of the ESIN technique
Injury 2005; 36: 78-85

76. Smekal V, Irenberger A, Struve P, Wambacher M, Krappinger D, Kralinger F
Elastic stable intramedullary nailing versus nonoperative treatment of displaced midshaft clavicular fractures – a randomized, controlled, clinical trial
J Orthop Trauma 2009; 23: 106-112
77. Smekal V, Irenberger A, El Attal R, Oberladstaetter J, Krappinger D, Kralinger F
Elastic stable intramedullary nailing is best for mid-shaft clavicular fractures without comminution: Results in 60 patients
Injury 2010; doi: 10.1016/j.injury.2010.02.033
78. Stanley D, Norris SH
Recovery following fractures of the clavicle treated conservatively
Injury 1988; 19: 162-164
79. Synthes, Original instruments and implants of the Association for the study of internal fixation – AO/ ASIF
The Titanium Elastic Nail System, technique guide
© Synthes, USA, 1998
<http://products.synthes.com> (Stand 03.08.2009)
80. Synthes, Originalinstrumente und –implantate der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen – AO/ ASIF
TEN – Titanium Elastic Nail, Operationstechnik
© Stratec Medical, Synthes GmbH, Oberdorf/ Schweiz, 2004
81. Walz M, Kolbow B, Auerbach F
Elastisch stabile intramedulläre Nagelung (ESIN) von Klavikulaschaftfrakturen – Wandel eines Therapiekonzepts?
Unfallchirurg 2006; 109: 200-211
82. Westphal T, Piatek S, Winckler S
Reliabilität und Veränderungssensitivität der deutschen Version des Fragebogens Arm, Schulter und Hand (DASH)
Unfallchirurg 2007; 110: 548-552

83. White R, Anson P, Kristiansen T, Healy W
Adult clavicle fractures: Relationship between mechanism of injury and healing
Orthop Trans 1989; 13: 514-515

84. Yian EH, Ramappa AJ, Arneberg O, Gerber C
The Constant score in normal shoulders
J Shoulder Elbow Surg 2005; 14: 128-133

85. Zlowodzki M, Zelle B, Cole P, Jeray K, McKee M
Treatment of acute midshaft clavicle fractures: systematic review of 2144
Fractures
J Orthop Trauma 2005; 19: 504-507

VIII. Danksagung

Zunächst möchte ich Herrn Prof. Dr. U. Stöckle in seiner Rolle als Doktorvater für die Möglichkeit danken, die vorliegende Dissertation in seiner Abteilung anfertigen zu können. In diesem Zusammenhang danke ich auch Herrn Dr. med. A. Ganslmeier für die Überlassung des interessanten und vielfältigen Themas sowie die erste Einführung in wissenschaftliches Arbeiten.

Großer Dank gilt auch Herrn Dr. med. T. Kraus und Herrn Dr. med. F. Martetschläger, die als Betreuer der Arbeit fungierten und die mir mit ihren Ratschlägen und Ideen wertvolle Ansprechpartner waren. Auf diese Art trugen hohe Motivation und Freude an der Arbeit zu einem raschen Voranschreiten bei. Vor allem Herrn Dr. med. T. Kraus danke ich für sein großes Engagement beim Erstellen dieser Dissertation, das sich in vielen Diskussionen, Interesse an allen Fragestellungen, absoluter Verlässlichkeit und steter Verfügbarkeit ausdrückte. Dank seiner Unterstützung erwies sich das Verfassen und Gestalten des schriftlichen Teils als unkompliziert.

Herrn Dr. T. Schuster möchte ich für seine großzügige und hilfsbereite Unterstützung im Hinblick auf die statistischen Aspekte der Promotion sowie seine allzeit vorhandene Erklärungsbereitschaft danken.

Ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich stets in meinen Entscheidungen unterstützt haben, mir jederzeit mit Rat und Tat zu Seite stehen sowie die Möglichkeit zu diesem Berufsweg eröffnet haben. Ebenso bedanke ich mich herzlich bei Dr. med. Matthias Lindenmeir, der mir als engagierter Korrektor wertvolle Tipps gegeben hat. Von ganzem Herzen danke ich auch meiner Schwester, die neben all ihrer großzügigen Unterstützung zusätzlich noch die mühevollen Aufgabe des Korrekturlesens gemeistert hat.

IX. Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name: Christina Barbara Schrödl
Geburtsdatum: 25.05.1984
Geburtsort: Rosenheim
Email: christina.schroedl@yahoo.de

Schulbildung

1991 – 1995 Grundschule Kolbermoor
1995 – 2004 Ignaz-Günther-Gymnasium Rosenheim
Juni 2004 Allgemeine Hochschulreife

Hochschulbildung

2004-2006 Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilian-Universität/
Technischen Universität München
2006 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
2006-2009 Fortsetzung des Studiums an der Ludwig-Maximilian-Universität
München
2009 – 2010 Praktisches Jahr
1. Tertial im Bereich der Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
in der Chirurgischen Klinik der LMU München
2. Tertial im Bereich der Inneren Medizin im Universitätsklinikum Inselspital
Bern/ Schweiz und im Klinikum Schwabing/ München
3. Tertial im Bereich der Chirurgie im Stadtspital Triemli/ Zürich/ Schweiz
Mai 2011 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung/ Staatsexamen

X. Anhang

I. DASH

Dieser Fragebogen beschäftigt sich sowohl mit Ihren Beschwerden als auch mit Ihren Fähigkeiten, bestimmte Tätigkeiten auszuführen.

Bitte beantworten Sie *alle* Fragen gemäß Ihrem Zustand *in der vergangenen Woche*, indem Sie einfach die entsprechende Zahl ankreuzen.

Es ist nicht entscheidend, mit welchem Arm oder welcher Hand Sie diese Tätigkeit ausüben.

Antworten Sie Ihrer Fähigkeit entsprechend, ungeachtet, wie Sie die Aufgaben durchführen konnten.

Bitte schätzen Sie Ihre Fähigkeiten ein, wie Sie folgende Tätigkeiten in der vergangenen Woche durchgeführt haben, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	keine Schwierigkeiten	geringe Schwierigkeiten	mäßige Schwierigkeiten	erheblich Schwierigkeiten	nicht möglich
1. ein neues oder fest verschlossenes Glas öffnen	1	2	3	4	5
2. Schreiben	1	2	3	4	5
3. Einen Schlüssel im Schloss drehen	1	2	3	4	5
4. Eine Mahlzeit zubereiten	1	2	3	4	5
5. Eine schwere Tür aufstoßen	1	2	3	4	5
6. Einen Gegenstand in ein Regal über Kopfhöhe stellen	1	2	3	4	5
7. schwere Hausarbeit (z.B. Boden oder Fenster putzen) durchführen	1	2	3	4	5
8. Gartenarbeit ausführen	1	2	3	4	5
9. Ein Bett machen	1	2	3	4	5
10. Eine Einkaufstasche oder einen Aktenkoffer tragen	1	2	3	4	5
11. Einen schweren Gegenstand (über 5 kg) tragen	1	2	3	4	5
12. Eine Glühbirne in einer Deckenlampe austauschen	1	2	3	4	5
13. Haare waschen oder föhnen	1	2	3	4	5
14. Ihren Rücken waschen	1	2	3	4	5
15. Einen Pullover anziehen	1	2	3	4	5
16. mit einem Messer Lebensmittel schneiden	1	2	3	4	5

	keine Schwierigkeiten	geringe Schwierigkeiten	mäßige Schwierigkeiten	erheblich Schwierigkeiten	nicht möglich
17. Freizeitbeschäftigungen durchführen, die wenig Mühe erfordern (z.B. Stricken, Kartenspielen, etc.)	1	2	3	4	5

18. Freizeitbeschäftigungen durchführen, die etwas Kraft/ Druck durch Arme, Schultern oder Hände erfordern (z.B. Kegeln, Tennis, einen Hammer benutzen)	1	2	3	4	5
19. Freizeitbeschäftigungen durchführen, bei denen Ihre Arme frei bewegt werden (z.B. Federball spielen)	1	2	3	4	5
20. Beim Verwenden von Transportmitteln (von einem Ort zum anderen gelangen)	1	2	3	4	5
21. Sexuelle Aktivitäten	1	2	3	4	5

In welchem Ausmaß haben Ihre Schulter-, Arm- oder Handprobleme Ihre normalen sozialen Aktivitäten mit Familie, Freunden oder anderen Gruppen während der vergangenen Woche beeinträchtigt? Bitte kreuzen Sie die entsprechende Zahl an.

	Überhaupt nicht	Ein wenig	Mäßig	Erheblich	Sehr
22. Wie schwer haben Beschwerden mit Schultern, Armen oder Händen Ihre sozialen Fähigkeiten mit Familie/ Freunden beeinträchtigt?	1	2	3	4	5
23. Inwieweit waren Sie wegen Beschwerden in schultern, Armen oder Händen bei der Ausübung Ihrer Berufstätigkeit oder anderer Alltagsaktivitäten beeinträchtigt?	1	2	3	4	5

Bitte schätzen Sie den Schweregrad Ihrer Beschwerden für folgende Symptome während der letzten Woche ein, indem Sie die entsprechende Zahl ankreuzen.

	Keine	Gering	Mäßig	Stark	Extrem
24. Ruheschmerzen der Schultern, Arme oder Hände	1	2	3	4	5
25. Schmerzen in Schultern, Armen oder Händen bei der Ausübung bestimmter Tätigkeiten	1	2	3	4	5
26. Kribbeln in Schultern, Armen oder Händen	1	2	3	4	5

	Keine	Gering	Mäßig	Stark	Extrem
27. Schwäche in Schultern, Armen oder Händen	1	2	3	4	5
28. Steifigkeit in Schultern, Armen oder Händen	1	2	3	4	5
29. Hatten sie in den vergangenen Wochen Schlafstörungen aufgrund von Schmerzen in Schultern, Armen oder Händen?	1	2	3	4	5

	Trifft nie zu	Trifft selten zu	Weder ja noch nein	Trifft meist zu	Trifft stets zu
30. Ich fühle mich weniger leistungsfähig/ zuversichtlich oder nutzlos wegen meiner Beschwerden in Schultern, Armen oder Händen	1	2	3	4	5

Die folgenden beiden Module beziehen sich auf Arbeit/ Beruf oder Freizeit/ Sport/ Musik. Bitte beantworten Sie nur **eines** davon, je nachdem, ob die Ausübung von Beruf oder Freizeitaktivität für Sie im Vordergrund steht.

Arbeits- und Berufs-Modul

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Verletzung auf Ihre Arbeit (einschließlich Haushaltsführung, wenn dies Ihre Hauptbeschäftigung ist).

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt.

Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	Keine Schwierigkeiten	Geringe Schwierigkeiten	Mäßige Schwierigkeiten	Erhebliche Schwierigkeiten	Nicht möglich
1. ...in der üblichen Art und Weise zu arbeiten?	1	2	3	4	5
2. ...aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihre übliche Arbeit zu erledigen?	1	2	3	4	5
3. ...so gut zu arbeiten wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. ...die bisher gewohnte Zeit mit Ihrer Arbeit zu verbringen?	1	2	3	4	5

Sport- und Musik-Modul

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Einfluss Ihrer Verletzung auf das Spielen Ihres Musikinstrumentes, auf das Ausüben Ihres Sports oder beides.

Wenn Sie mehr als ein Instrument spielen oder mehr als einen Sport ausüben (oder beides), so beantworten Sie bitte die Frage in Bezug auf das Instrument oder die Sportart, die Ihnen am wichtigsten ist.

Bitte kreuzen Sie die Zahl an, die Ihre körperlichen Fähigkeiten in der vergangenen Woche am besten beschreibt. Hatten Sie irgendwelche Schwierigkeiten:

	keine Schwierigkeiten	geringe Schwierigkeiten	mäßige Schwierigkeiten	erhebliche Schwierigkeiten	nicht möglich
1. ...in der üblichen Art und					

Weise Ihr Instrument zu spielen oder Ihren Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
2. ...aufgrund der Schmerzen in Schulter, Arm oder Hand Ihr Instrument zu spielen oder Ihren Sport zu treiben?	1	2	3	4	5
3. ...so gut Ihr Instrument zu spielen oder Sport zu treiben, wie Sie es möchten?	1	2	3	4	5
4. ...die bisher gewohnte Zeit mit dem Spielen Ihres Instruments, bzw. mit Sporttreiben zu verbringen?	1	2	3	4	5



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

Constant score

Schmerz:

Wie beurteilen Sie Ihre Schmerzen im Verlauf des täglichen Lebens?

	keine(15)	minimal(10)	mäßig(5)	stark(0)
links	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rechts	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

.....15/....

Alltagsaktivitäten:

Arbeitsfähigkeit : 0 - 1 - 2- 3 - 4

Freizeit- und Sportaktivität: 0 - 1 - 2 - 3 - 4

Schlaffähigkeit: 0 - 1 - 2

Bis auf welche der angegebenen Höhen können Sie mit ihren Händen schmerzlos Arbeiten verrichten?

	links	rechts
bis zur Gürtellinie (2)	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
bis zur Brust	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
bis zum Hals	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
bis zum Scheitel	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>
über den Kopf hinaus	10 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>

...../20/.....

Objektiver Bewegungsumfang: schmerzfrei und aktiv

	Anteversion		Abduktion	
	links	rechts	links	rechts
0°-30° Gürtellinie	0 <input type="checkbox"/>	0 <input type="checkbox"/>	0 <input type="checkbox"/>	0 <input type="checkbox"/>
31°-60° Brustkorb	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
61°-90° Schulter/Hals	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
91°-120° Scheitel	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
121°-150° über Kopf	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>
151°-180° gestreckt nach oben	10 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>

...../20/.....



Leiter: Univ.-Prof. Dr. U. Stöckle

1. Welche der folgenden Bewegungen können Sie ohne Schmerzen durchführen?

	links	rechts
Hand am Hinterkopf mit Ellenbogen nach vorne	2 0	2 0
Hand am Hinterkopf mit Ellbogen nach hinten	2 0	2 0
Hand auf den Scheitel mit Ellbogen nach vorne	2 0	2 0
Hand auf den Scheitel mit Ellbogen nach hinten	2 0	2 0
Uneingeschränkte Überkopfbeweglichkeit	2 0	2 0
	/10/.....

2. Bis auf welche Position können Sie ihren Handrücken ohne Schmerzen bewegen?

	links	rechts
bis auf die Außenseite des Oberschenkels	0 0	0 0
bis auf das Gesäß	2 0	2 0
bis zum oberen Gesäßansatz	4 0	4 0
bis zur Gürtellinie am Rücken	6 0	6 0
bis auf Höhe der unteren Rippen am Rücken	8 0	8 0
bis zwischen den Schulterblätter	10 0	10 0
	/10/.....

Kraft:

...../25/.....

Punkte links: /100

Punkte rechts: /100

100-91: ausgezeichnet, 90-81: gut, 71-80: befriedigend, 70-61: ausgezeichnet,
< 60 schlecht