

Chirurgische Klinik und Poliklinik - Großhadern
Klinikum der Ludwig-Maximilian-Universität München
Vorstand: Herr Prof. Dr. med. K.-W. Jauch

Die posttraumatische Claviculapseudarthrose - Epidemiologie, Ätiologie und Therapie

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Dipl.-Chemiker Dr. rer. nat.
Manuel Alexander Gold

aus
München

im Jahr 2007

mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv.Doz. Dr. med. S. Piltz

Mitberichterstatter: Priv.Doz. Dr. med. P. Biberthaler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. O. Pieske

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 15.03.2007

INHALT:

1. Einleitung	1
1.1. Hintergrund.....	1
1.2. Ziel der Arbeit	2
2. Material und Methoden	3
2.1. Literaturrecherche	3
2.2. Einschluss- und Ausschlusskriterien	4
2.3. Datengewinnung	4
2.4. Statistische Methoden	4
2.5. Materialien.....	5
2.5.1. Konservative Therapieformen	5
2.5.2. Operative Therapieformen	6
2.5.2.1. Osteosyntheseplatten	6
2.5.2.2. Intramedulläre Fixation.....	11
2.5.2.3. Weitere Materialien und OP-Techniken	19
2.6. Fragestellungen.....	20
3. Grundlagen der Clavicula, Claviculafraktur und Pseudarthrose allgemein	21
3.1. Begriff, Anatomie und Funktion der Clavicula.....	21
3.2. Bedeutung und Epidemiologie der Claviculafraktur	24
3.3. Pathogenese, Symptome und Diagnose der Claviculafraktur	27
3.4. Klassifikation der Claviculafrakturen.....	31
3.5. Therapie der Claviculafraktur	33
3.5.1. Konservative Therapie der Claviculafraktur.....	33
3.5.2. Operative Therapie der Claviculafraktur.....	35
3.6. Komplikationen bei Claviculafrakturen.....	38
3.7. Pseudarthrosen allgemein.....	41
4. Ergebnisse aus den Publikationen und Studien zu Claviculapseudarthrosen ..	45
4.1. Allgemeines.....	45
4.1.1. Definition der Claviculapseudarthrose.....	45
4.1.2. Publikationen und Studien.....	45
4.1.3. Zeitliche Definition der Claviculapseudarthrose	53
4.2. Epidemiologie der Claviculapseudarthrose	55
4.2.1. Anteil der Claviculapseudarthrosen an Pseudarthrosen.....	55
4.2.2. Anteil der Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur.....	55
4.2.3. Anteil lateraler Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur	59
4.2.4. Lokalisation der Claviculapseudarthrosen.....	61
4.2.5. Geschlechtsverteilung	62
4.2.6. Altersverteilung	62
4.2.7. Körperseite.....	62
4.2.8. Trophik	63
4.2.9. Straffe und schlaffe Claviculapseudarthrosen	64
4.2.10. Vaskularisation.....	64
4.2.11. Symptome, Befunde und Diagnostik bei Claviculapseudarthrosen	64
4.3. Ursachen und Risikofaktoren der Claviculapseudarthrose	67
4.4. Therapie der Claviculapseudarthrose.....	74
4.4.1. Allgemeines und Therapieoptionen.....	74
4.4.2. Indikationen und Kontraindikationen zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose.....	74

4.4.3.	Operative Therapie und Therapieformen der Claviculapseudarthrose	75
4.4.3.1.	Rekonstruktive Verfahren.....	77
4.4.3.1.1.	Allgemein	77
4.4.3.1.2.	Plattenosteosynthesen	78
4.4.3.1.3.	Intramedulläre Fixationen	85
4.4.3.1.4.	Externe Fixation (Fixateur externe).....	89
4.4.3.1.5.	Weitere Verfahren	90
4.4.3.1.6.	Die optimale rekonstruktive Therapie - direkter Vergleich der Verfahren.....	91
4.4.3.2.	Salvage procedures (Resektive Verfahren)	92
4.4.3.3.	Die Therapie der lateralen Claviculapseudarthrose	93
4.4.4.	Osteosynthesefördernde Therapien.....	94
4.4.5.	Postoperative Immobilisation	97
4.4.6.	Implantat-Entfernung.....	99
4.4.7.	Ergebnisse operativer Therapien der Claviculapseudarthrose	100
4.4.7.1.	Knochenheilungszeit.....	100
4.4.7.2.	Heilungsraten und persistierende Claviculapseudarthrosen	101
4.4.7.3.	Komplikationen und Komplikationsraten	105
5.	Diskussion	110
5.1.	Bedeutung der Claviculapseudarthrose	110
5.2.	Epidemiologie der Claviculapseudarthrose	112
5.3.	Ätiologische Faktoren	123
5.4.	Therapie der Claviculapseudarthrose.....	133
5.4.1.	Qualität der Studien	133
5.4.2.	Einflussgrößen auf den Therapieerfolg	134
5.4.3.	Therapieoptionen der Claviculapseudarthrose	134
5.4.3.1.	Allgemeines	134
5.4.3.2.	Konservative oder operative Therapie	134
5.4.3.3.	Indikationen zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose	135
5.4.3.4.	Operative Therapieformen der Claviculapseudarthrose.....	136
5.4.3.4.1.	Allgemeines	136
5.4.3.4.2.	Plattenosteosynthesen	138
5.4.3.4.3.	Intramedulläre Fixationen	144
5.4.3.4.4.	Externe Fixation (Fixateur externe).....	149
5.4.3.4.5.	Weitere Verfahren.....	150
5.4.3.4.6.	Die optimale rekonstruktive Therapie - direkter Vergleich der Verfahren ...	150
5.4.3.4.7.	Salvage procedures (Resektive Verfahren)	151
5.4.3.4.8.	Die Therapie der lateralen Claviculapseudarthrose	152
5.4.3.5.	Osteosynthesefördernde Therapien.....	152
5.4.3.5.1.	Implantation von Knochenspongiosa und Corticalisspänen.....	153
5.4.3.5.2.	Implantation anorganischer Materialien	154
5.4.3.5.3.	Weitere Verfahren.....	155
5.4.3.6.	Postoperative Immobilisation	156
5.4.3.7.	Implantat-Entfernung	156
5.4.3.8.	Ergebnisse operativer Therapien der Claviculapseudarthrose.....	157
6.	Zusammenfassung.....	161
7.	Literaturverzeichnis	165
8.	Dank.....	182
9.	Lebenslauf	183

1. Einleitung

1.1. Hintergrund

Publikationen

Die Berichtssituation in der Literatur hinsichtlich der Problematik der Pseudarthrosenbildung nach Claviculafraktur gilt als dürftig und heterogen. Angaben über die Anzahl von Publikationen zu diesem Thema schwanken in einem weiten Bereich. Insbesondere haben sich deutsche Autoren diesem Thema in den letzten 15 Jahren mit nur wenigen Veröffentlichungen gewidmet. Genauso wenig existiert ein umfassender, vollständiger Review und auch keine Metaanalyse zu den epidemiologischen, ätiologischen und therapeutischen Fragestellungen der Claviculapseudarthrose. Die bislang umfassendste Literaturstudie zum Thema Claviculapseudarthrose von Der Tavitian umfasst nur wenige Publikationen und bleibt dabei unvollständig (Der Tavitian 2002).

Epidemiologie

Traumatische Frakturen der Clavicula sind mit 5-16% (Löffler 1979) aller Frakturen epidemiologisch häufig. Sie werden i.d.R. als unproblematische Verletzungen betrachtet und konservativ therapiert. Unbestritten ist, dass eine der häufigsten Komplikationen nach Claviculafraktur die Pseudarthrose der Clavicula darstellt, deren Auftreten von den meisten Autoren jedoch als ‚selten‘ (Rowe 1968, Robinson 2004, Jubel 2005) bezeichnet wird. Der Autor der vorliegenden Dissertation stellt die Hypothese auf, dass die Häufigkeit der Claviculapseudarthrose weit höher liegt, als üblicherweise in der Literatur angegeben wird.

Ätiologie

Die Ursachen für das Auftreten der *posttraumatischen* Claviculapseudarthrose, die hier von der congenitalen oder pathologisch-onkogenen Claviculapseudarthrose abgegrenzt wird, sind vielfältig und reichen von der Schwere des initialen Traumas und der Lokalisation der Claviculafraktur, über Aspekte der Dislokation und Verkürzung der Clavicula, bis hin zum Einfluss der konservativen oder operativen Behandlungsmethode. Über die Bedeutung und Häufigkeiten der prädisponierenden Faktoren besteht jedoch in der Literatur große Uneinigkeit.

Therapie

Zur Versorgung der traumatischen Claviculapseudarthrose existieren seit langer Zeit zahlreiche Therapieverfahren, angefangen von konservativen Behandlungsformen über operative Rekonstruktionsverfahren in Form von Plattenosteosynthesen, intramedullärer Fixierung mit Nägeln oder Schrauben und externer Fixation bis hin zu resektiven Verfahren (Salvage procedures). Bis zum heutigen Tag besteht jedoch in der Literatur Uneinigkeit über das richtige Verfahren zur Behandlung von Pseudarthrosen der Clavicula und dem Einfluss unterschiedlicher das Knochenwachstum stimulierender Faktoren.

1.2. Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit hat, im Rahmen einer retrospektiven Analyse der Literatur zum Thema der posttraumatischen Claviculapseudarthrose, folgende Hauptziele:

- Objektivierung und Quantifizierung der Berichts- und Datenlage (Anzahl der Publikationen und Relevanz) von posttraumatischen Claviculapseudarthrosen
- Objektivierung und Quantifizierung der Epidemiologie (Häufigkeit) von posttraumatischen Claviculapseudarthrosen
- Objektivierung der ätiologischen Faktoren von posttraumatischen Claviculapseudarthrosen
- Objektivierung und Quantifizierung der Effizienz therapeutischer Methoden bei posttraumatischen Claviculapseudarthrosen

Wo immer möglich sind diesbezügliche Faktoren systematisch zu erfassen und statistisch zu evaluieren. Im Falle des Vorliegens geeigneter Studien soll eine vergleichende Metaanalyse der Studiendaten durchgeführt werden.

2. Material und Methoden

2.1. Literaturrecherche

Zum Auffinden der relevanten Veröffentlichungen wurde die Literatur mithilfe verschiedener elektronischer Datenbanken und Suchmaschinen durchforstet:

- www.pubmed.com
- www.medline.de
- www.bsb-muenchen.de
- www.rzblx1.uni-regensburg.de
- www.zbmed.de
- www.dimdi.de

Es konnten Publikationen bis einschließlich Mai 2005 berücksichtigt werden.

Nachfolgende Schlüsselwörter und Schlüsselwörter-Kombinationen wurden zur Suche der Literaturstellen verwendet:

- Clavic* + Pseudarthros*
- Clavic* + Pseudoarthros*
- Klavik* + Pseudarthros*
- Schlüsselbein + Pseudarthros*
- clavic* + nonunion
- clavic* + non-union
- clavic* + ununited

Zusätzlich wurden alle aktuellen Publikationen in der Datenbank Pubmed im Zeitraum 2004-2005 mit dem Schlüsselwort clavic* nach themenrelevanten Aussagen durchsucht. Ergänzend wurden die zahlreichen bibliographischen Angaben im Anhang der gefundenen Literaturstellen jeweils manuell recherchiert. Die Volltexte der Publikationen wurden aus nachfolgenden Quellen beschafft:

- Universitätsbibliothek der LMU München (München-Großhadern)
- Bayerische Staatsbibliothek, München
- Medizinische Zentralbibliothek, Köln
- Universitätsbibliotheken Aachen, Berlin (Unter den Linden), Gießen, Hannover, Leipzig, Ulm, Würzburg
- Bundesversicherungsamt Köln
- Online-Datenbanken (Elsevier, Ingenta, Springer, Subito)

2.2. Einschluss- und Ausschlusskriterien

Es wurde ein Katalog von Einschlusskriterien und Ausschlusskriterien definiert, die die jeweiligen Veröffentlichungen bzw. Studien erfüllen mussten, um in die Auswertung aufgenommen zu werden:

Einschlusskriterien:

- alle Arten von Studien (prospektive, retrospektive Studien, Fall-Berichte)
- alle Therapieoptionen
- Literatursprachen: deutsch, englisch, französisch, holländisch, italienisch, russisch, spanisch

Ausschlusskriterien:

- nicht-traumatische Claviculapseudarthrosen (z.B. congenitale, pathologische)
- kindliche Claviculapseudarthrosen (Patienten < 15 Jahre)

2.3. Datengewinnung

Es wurden Titel und die Zusammenfassung jeder Literaturstelle durchgesehen, wodurch bereits auf dieser Basis und unter Verwendung der Ein- und Ausschlusskriterien zahlreiche Veröffentlichungen aussortiert werden konnten. Die verbliebenen Artikel wurden im Volltext anhand der Ein- und Ausschlusskriterien geprüft.

Alle Artikel, die die Vorgabekriterien erfüllten, wurden einer Analyse unterzogen und nach vordefinierten Kriterien ausgewertet. Analoge Angaben wurden gruppiert, sortiert und in einer Gesamt-Datentabelle zusammengefasst.

2.4. Statistische Methoden

Die quantifizierten Ergebnisse wurden unter Angabe von Summen, Mittel-, Minimal-, Maximal- und Rang-Werten als auch in Form von Histogrammen dargestellt. Weitere statistische Tests konnten aufgrund des heterogenen Datenmaterials nicht angewandt werden.

2.5. Materialien

Nachfolgend sind die wesentlichen Materialien und Techniken, auf die in späteren Abschnitten bei der Therapie der Claviculafraktur und besonders der Claviculapseudarthrose Bezug genommen wird, aufgeführt und abgebildet:

2.5.1. Konservative Therapieformen

Abb. 2-01: Rucksackverband



Abb. 2-02: Gilchrist-Verband

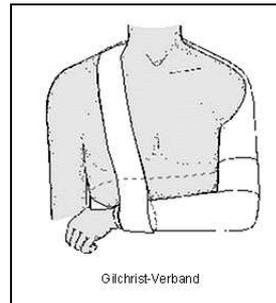


Abb. 2-03: Desault-Verband

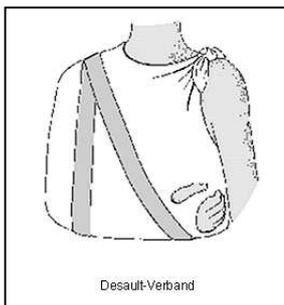


Abb. 2-04: Armschlinge (Mitella, Scherpe)

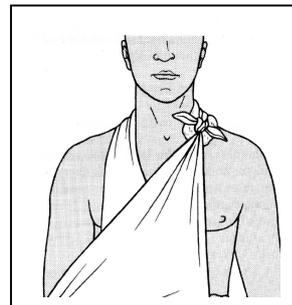
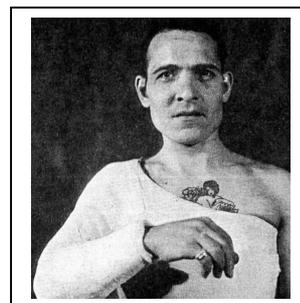


Abb. 2-05: Velpeau-Verband



Abb. 2-06: Schulter-Arm-Thorax-Gips



2.5.2. Operative Therapieformen

2.5.2.1. Osteosyntheseplatten

DC-Platten:



Abb. 2-07: DCP (Dynamic compression plate, AO 3,5 mm) implantiert (ap-Röntgenaufnahme, Petrovic 2004)

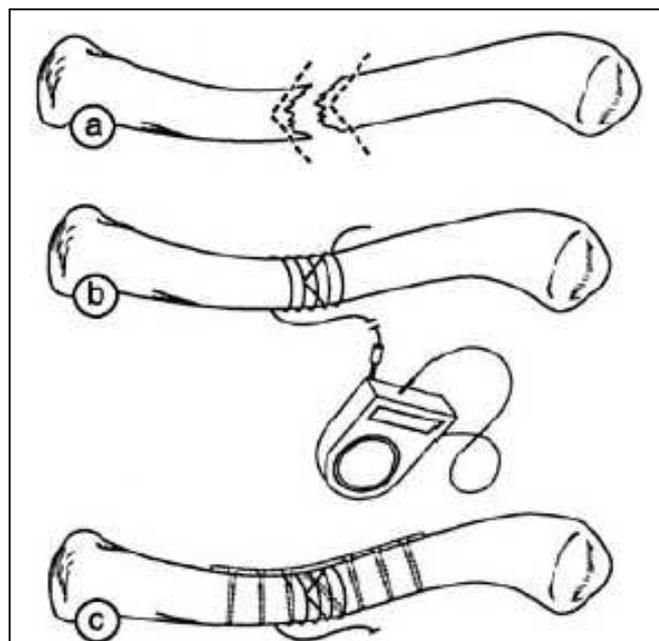


Abb. 2-10: a) Chevron-Osteotomie der Claviculapseudarthrose
b) Anwendung eines Knochenwachstumsstimulators
c) Anwendung einer DCP (jeweils schematisch, Evans 2004)



Abb. 2-08: atrophe Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels mit DCP und Knochenspan versorgt (ap-Röntgenaufnahme, Kabak 2004)



Abb. 2-09: knöcherne Konsolidierung einer Claviculapseudarthrose nach Therapie mit einem Knochenwachstumsstimulator und einer DCP (ap-Röntgenaufnahme, Evans 2004)



Abb. 2-11: Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels nach Osteosynthese mit gebogener 3,5mm-DCP (Wave-plate, ap-Röntgenaufnahme, Marti 2003)

LC-DC-Platten:

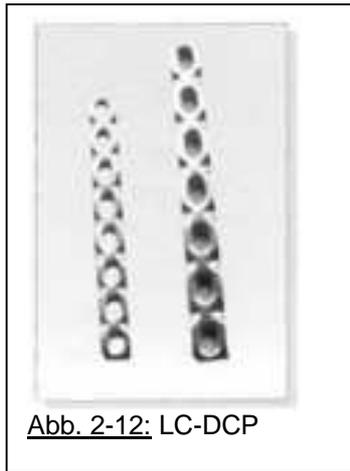


Abb. 2-12: LC-DCP

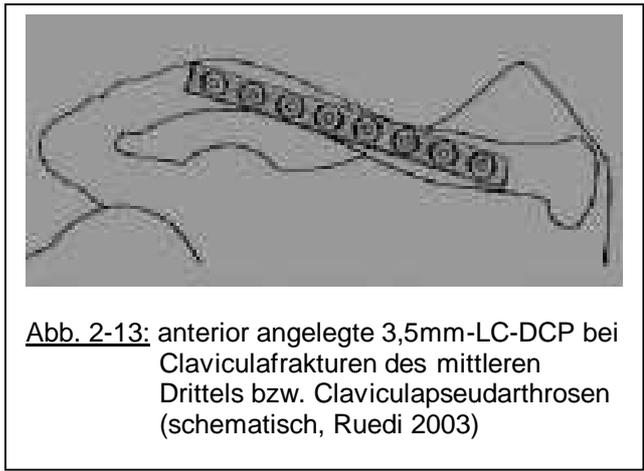


Abb. 2-13: anterior angelegte 3,5mm-LC-DCP bei Claviculafrakturen des mittleren Drittels bzw. Claviculapseudarthrosen (schematisch, Ruedi 2003)



Abb. 2-14: Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels mit LC-DCP und Knochenspan versorgt-(ap-Röntgenaufnahme, Kabak 2004)

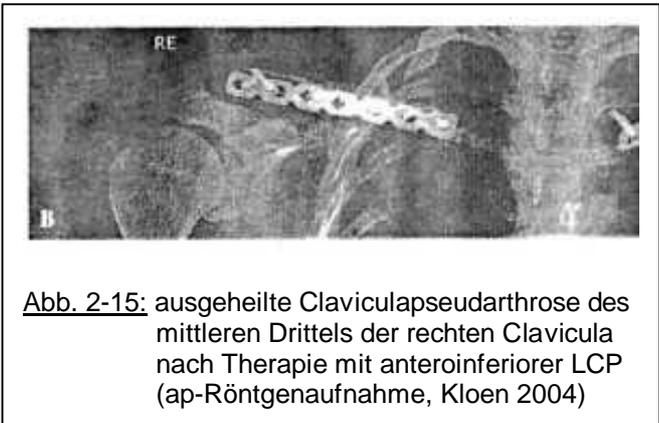
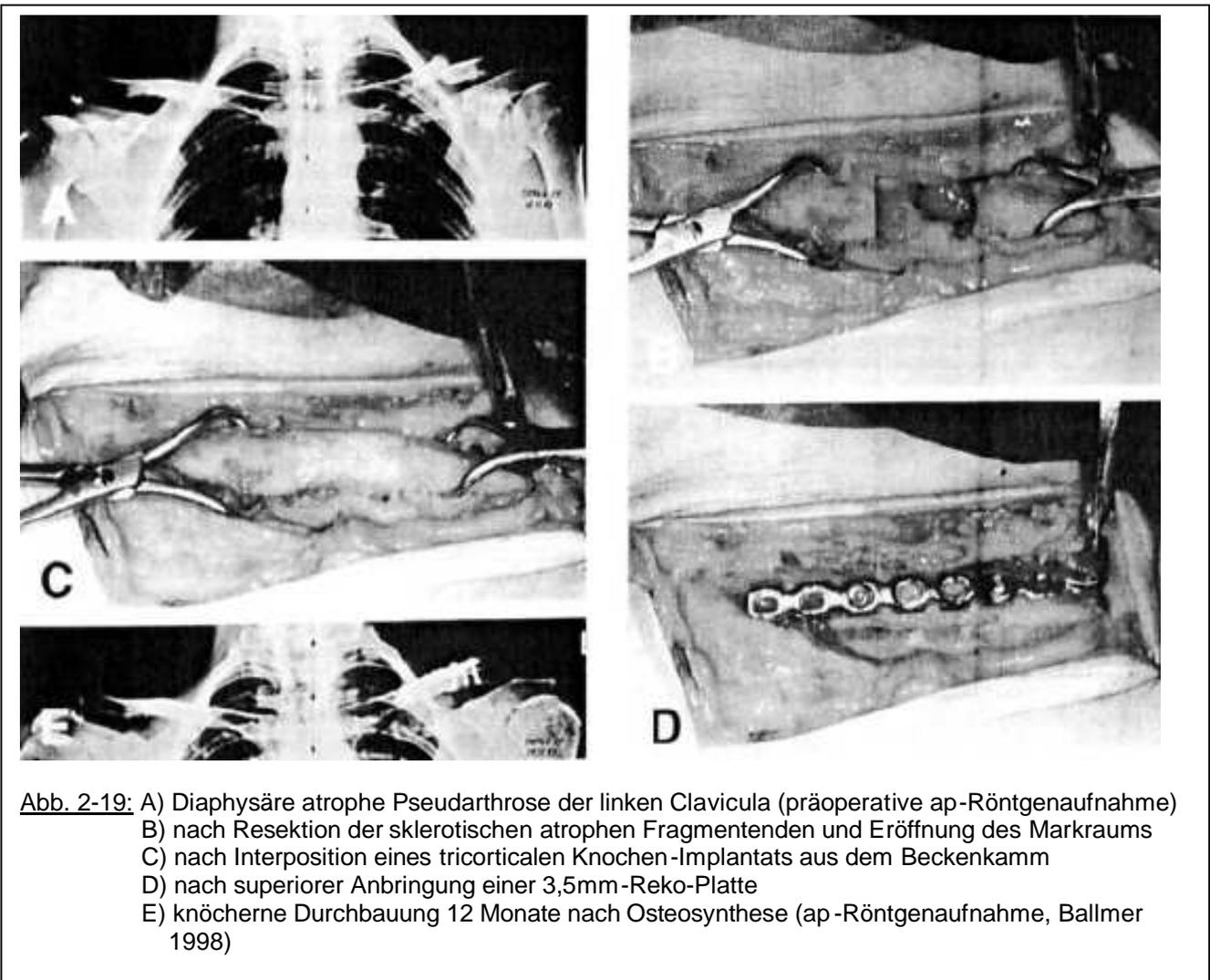
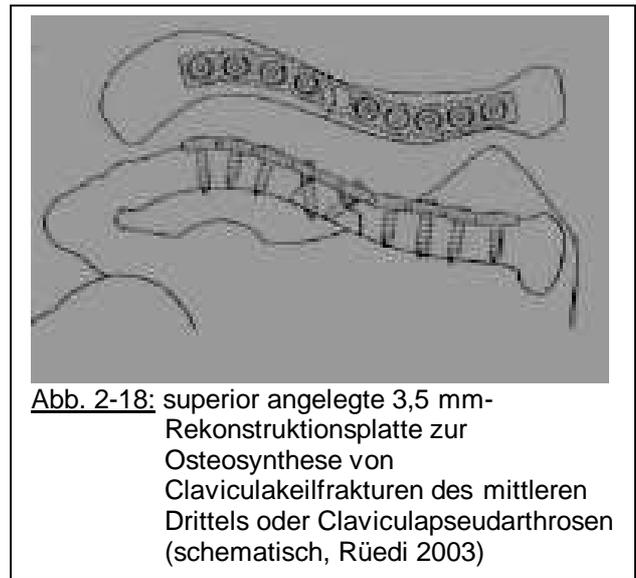
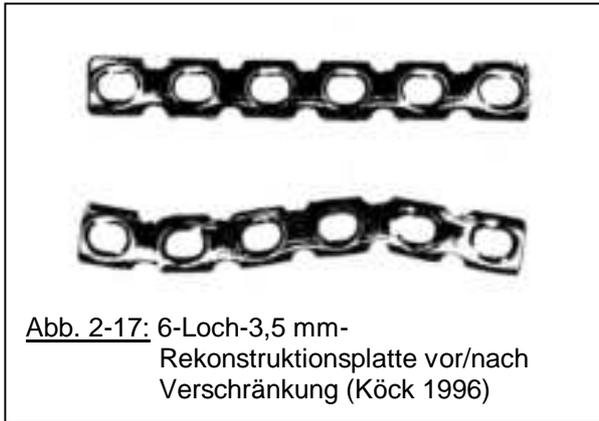


Abb. 2-15: ausgeheilte Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels der rechten Clavicula nach Therapie mit anteroinferiorer LCP (ap-Röntgenaufnahme, Kloen 2004)



Abb. 2-16: ausgeheilte Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels der linken Clavicula nach Therapie mit anteroinferiorer LCP (ap-Röntgenaufnahme, Kloen 2004)

Rekonstruktions-Platten (Reko-Platten):



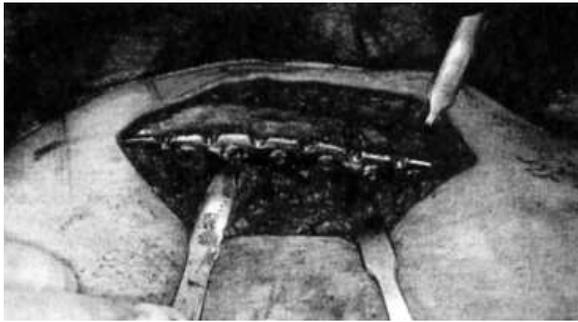


Abb. 2-20: intraoperative Aufnahme einer anteroinferioren Claviculapseudarthrose-Osteosynthese des mittleren Clavicula-Drittels mit einer 8-Loch-3,5mm-Rekonstruktionplatte; eine der Schrauben wird als „lag screw“ (Zugschraube) platziert (Kloen 2002)



Abb. 2-21: anteroinferiore Claviculapseudarthrose-Osteosynthese des mittleren Clavicula-Drittels mit einer 8-Loch-3,5mm-Rekonstruktionplatte; eine der Schrauben wird als „lag screw“ (Zugschraube) außerhalb der Platte platziert (ap-Rö., Kloen 2002)

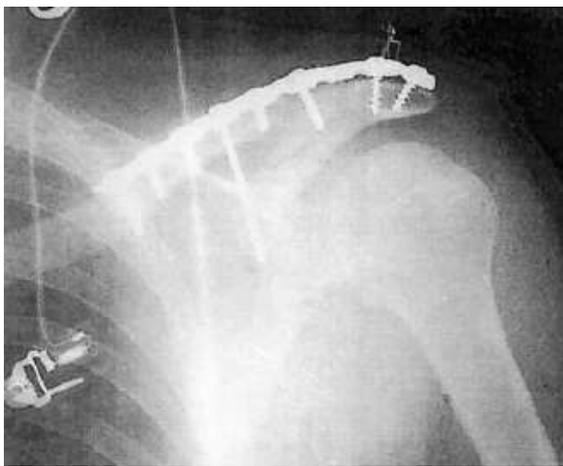


Abb. 2-22: Osteosynthese einer lateralen Claviculapseudarthrose mit einer das AC-Gelenk überbrückenden Rekonstruktionplatte und Schraubenfixation in den Processus coracoideus (ap-Röntgenaufnahme, Der Tavitian 2002)



Abb. 2-23: Osteosynthese einer Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels eines 22-jährigen Radfahrers 5 Monate nach Trauma (oben) und 3 Monate nach Plattenosteosynthese mit Reko-Platte (ap-R., Wentz 1999)

Drittelrohr- und Halbrohrplatten (STP = semitubular plate):



Abb. 2-24: Drittelrohrplatte links,
Halbrohrplatte (STP)
rechts



Abb. 2-25: Halbrohrplatte (STP) implantiert (ap -
Röntgenaufnahme, Petrovic 2004)



Abb. 2-26:
Drittelrohrplatte

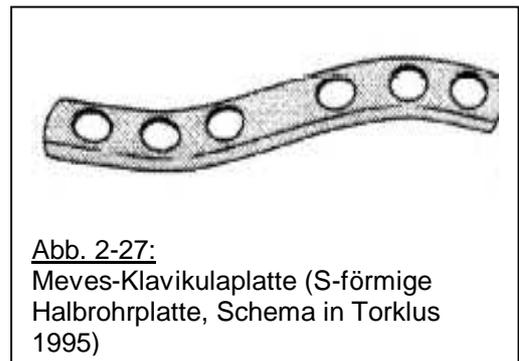


Abb. 2-27:
Meves-Klavikulaplatte (S-förmige
Halbrohrplatte, Schema in Torklus
1995)

2.5.2.2. Intramedulläre Fixation

Knowles-Pin:

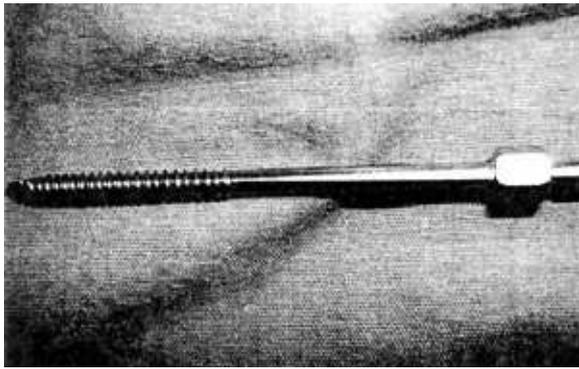


Abb. 2-28: Knowles-Pin (Fann 2004)

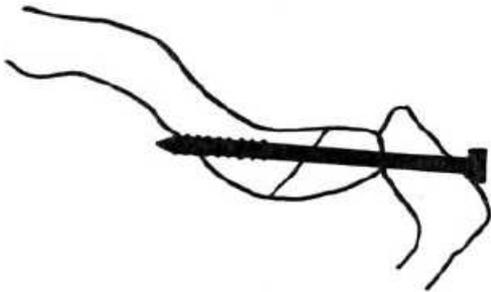


Abb. 2-29: Knowles-Pin zur Osteosynthese lateraler Claviculafrakturen und -pseudarthrosen (schematisch, Fann 2004)



Abb. 2-31: Osteosynthese einer 1-jährigen Claviculapseudarthrose eines 44-jährigen Patienten vergeblich mit 4-Loch-Platte (oben) und erfolgreich mit Knowles-Pin und Spongiosa (unten, ap-Röntgenaufn., Wu 1998)

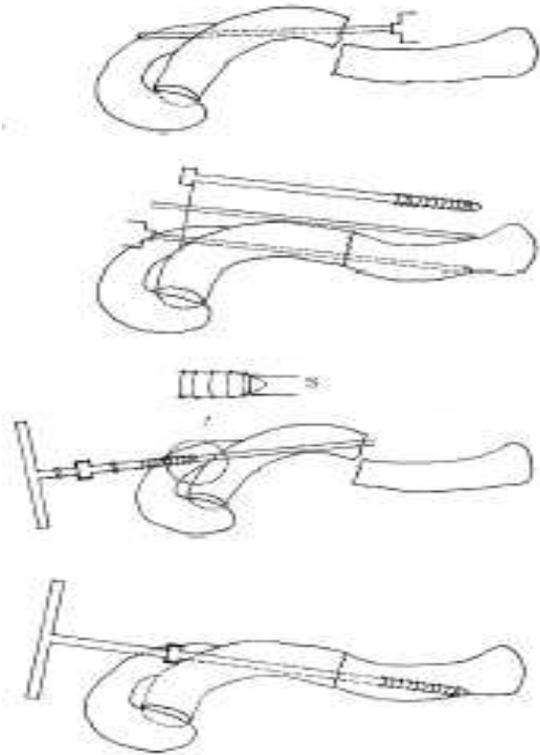


Abb. 2-30: Technik der Einführung des Knowles-Pin bei Claviculapseudarthrosen des mittleren Drittels (von oben): Vorbohrung des distalen Fragments, Reposition und temporäre Fixation mit 3 mm Steinmann-Nagel; Einbringung des Knowles-Pin von posterolateral und Fixierung (schematisch, Chu 2002)



Abb. 2-32: Osteosynthese einer diaphysären Claviculapseudarthrose durch intramedulläre Fixation mit einem Knowles-Pin (ap-Röntgenaufnahme, Chu 2002)

Elastisch-stabiler intramedullärer Nagel (ESIN):

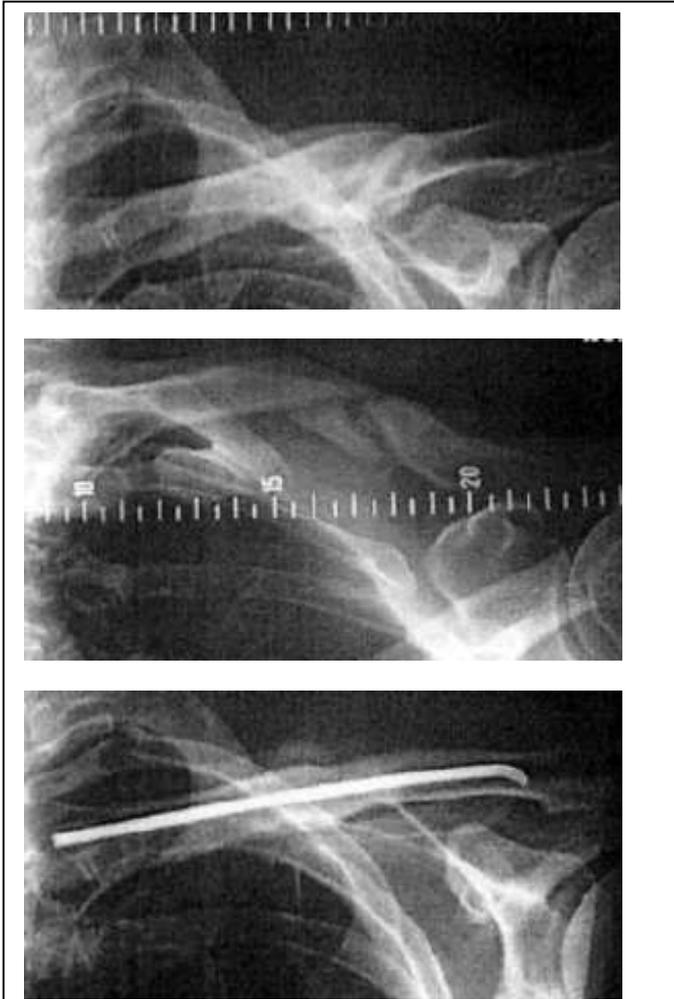


Abb. 2-33: Oben: Claviculapseudarthrose eines 37-jährigen Mannes 7 Monate nach Sturz mit Fahrrad (ap-Röntgenaufnahme)

Mitte: kraniokaudale Schrägaufnahme (30°) der obigen Claviculapseudarthrose

Unten: Osteosynthese der obigen Claviculapseudarthrose mit einem elastisch-stabilen intramedullären Nagel 12 Monate postoperativ (ap-Röntgenaufnahme, Jubel 2005)

Rush-Pin:



Abb. 2-34: Rush-Pin



Abb. 2-35: Osteosynthese einer diaphysären atrophischen Claviculapseudarthrose durch intramedulläre Fixation mit einem von lateral nach medial eingebrachten Rush-Pin und knöcherner Durchbauung nach 4 Monaten (ap-Röntgenaufnahme, Enneking 1999)

Hagie-Pin:

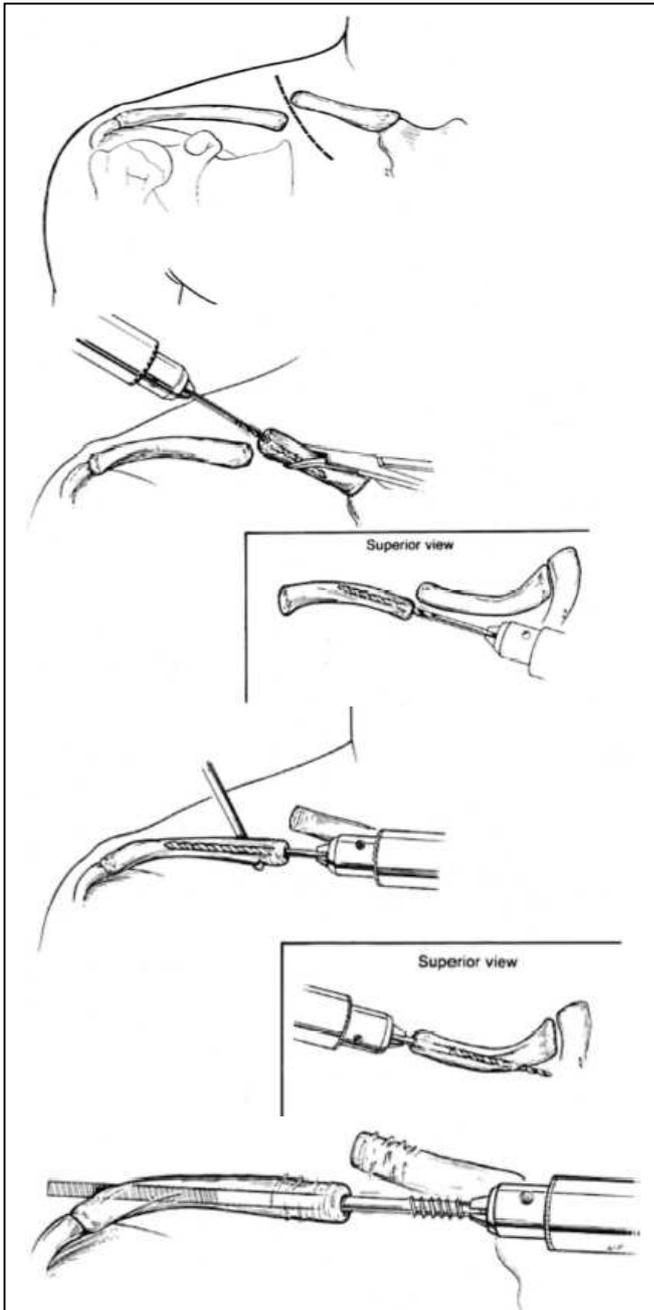


Abb. 2-36: Prinzipielle Schritte der intramedullären Osteosynthese mit dem Hagie-Pin: Hautschnitt in der Langerlinie direkt über der Claviculapseudarthrose, Aufbohrung des intramedullären Kanals des medialen Fragments, Aufbohrung des lateralen Fragments, Verschraubung des Feingewinde-Teils des Hagie-Pin durch das laterale Fragment (Schema, Boehme 1991)

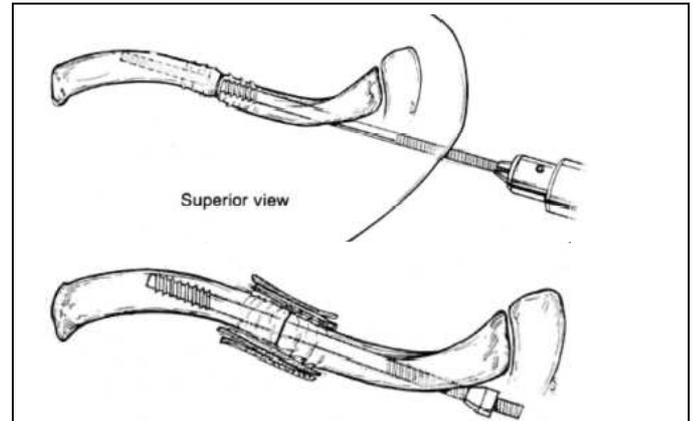


Abb. 2-37: Prinzipielle Schritte der intramedullären Osteosynthese mit dem Hagie-Pin (Forts.): Reposition der Fragmente und Verschraubung der Fragmente mit dem Grobgewinde-Teil, weitere Kompressionsmöglichkeit mit einer lateralen Schraubenmutter und Anlage von Knochenplastik um die Frakturstelle (Schema, Boehme 1991)



Abb. 2-38: Diaphysäre Claviculapseudarthrose mit einem modifizierten Hagie-Pin und Knochenspan nach Operation (oben) und 4 Monate postoperativ mit knöcherner Durchbauung (ap-Röntgenaufnahme, Boehme 1991)

Steinmann-Nagel:

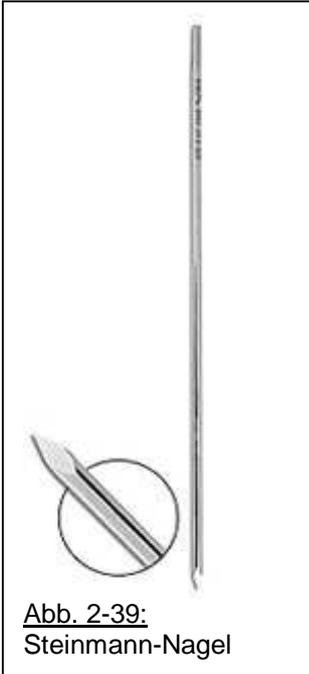


Abb. 2-39:
Steinmann-Nagel

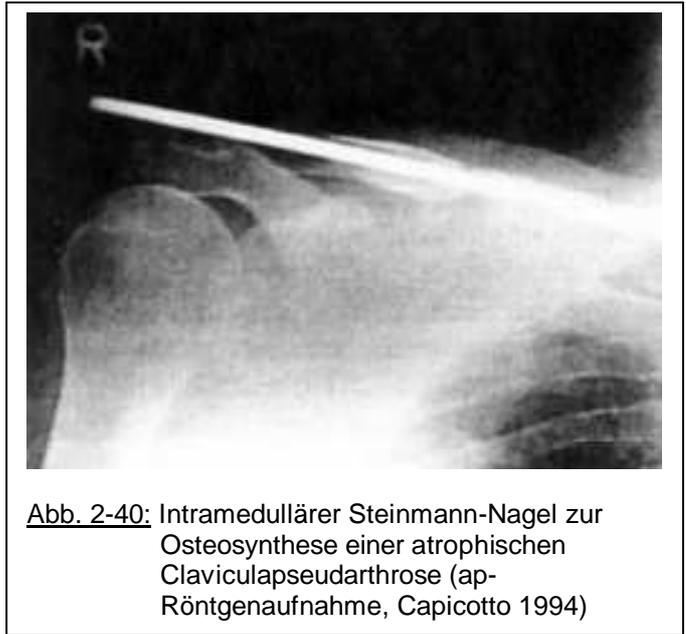


Abb. 2-40: Intramedullärer Steinmann-Nagel zur Osteosynthese einer atrophischen Claviculapseudarthrose (ap-Röntgenaufnahme, Capicotto 1994)



Abb. 2-41: Intramedullärer Steinmann-Nagel zur Osteosynthese einer atrophischen Claviculapseudarthrose 2 Monate postoperativ mit Brücken-Callus (ap-Röntgenaufnahme, Capicotto 1994)

Kirschner-Draht:

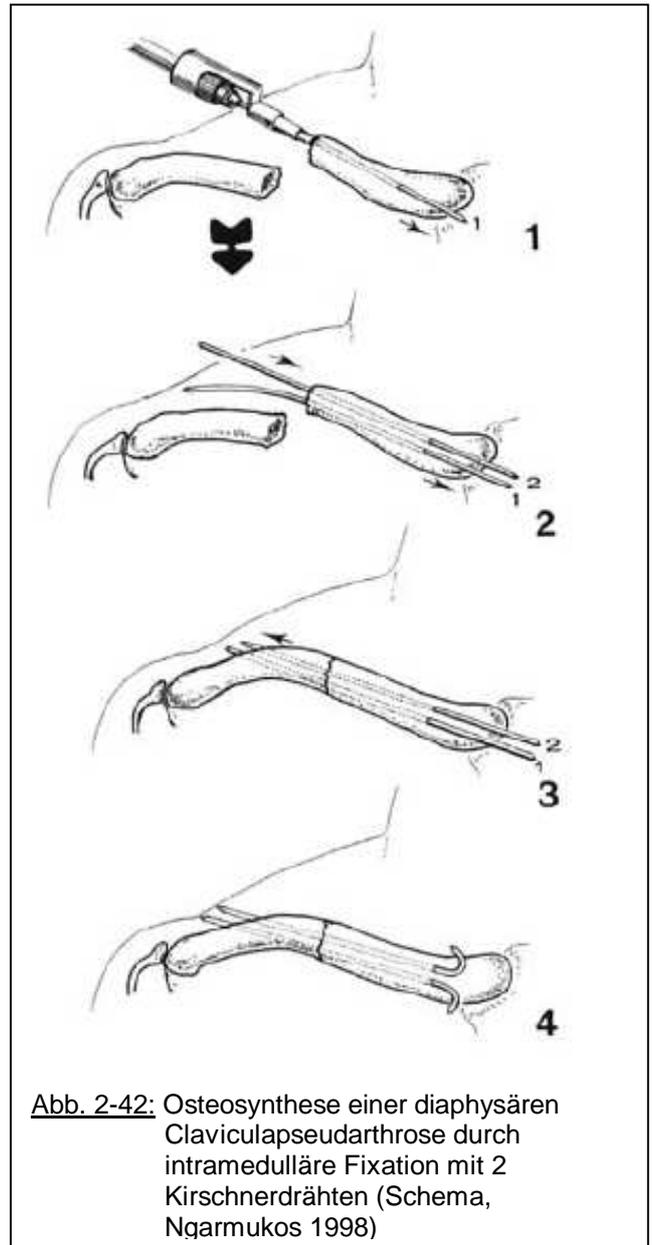


Abb. 2-42: Osteosynthese einer diaphysären Claviculapseudarthrose durch intramedulläre Fixation mit 2 Kirschnerdrähten (Schema, Ngarmukos 1998)

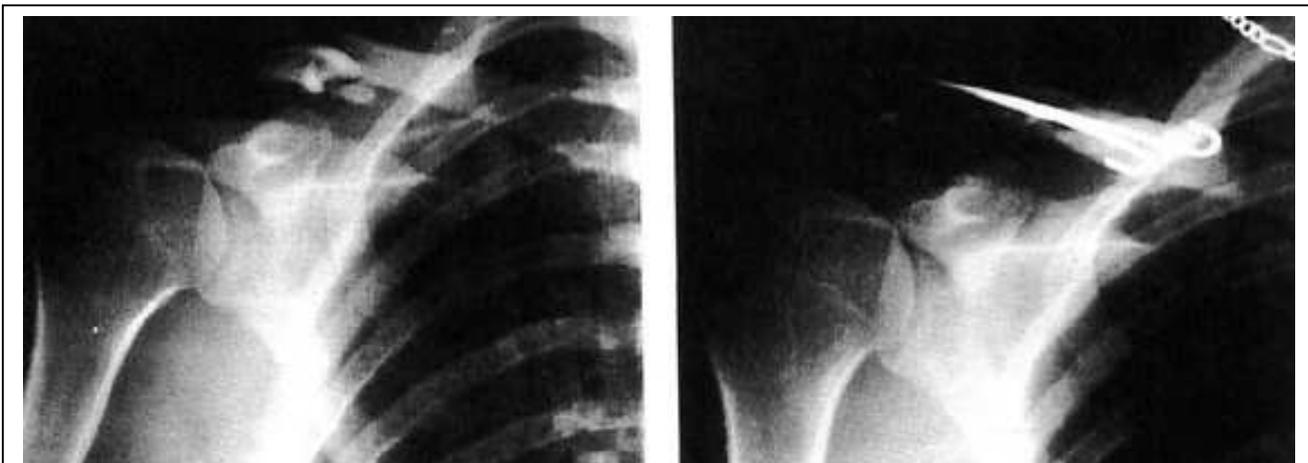


Abb. 2-43: Osteosynthese einer diaphysären Claviculapseudarthrose nach Clavicula-Trümmerfraktur (links) durch intramedulläre Fixation mit 2 Kirschnerdrähten (ap-Röntgenaufnahme, Ngarmukos 1998)

Küntscher-Nagel:

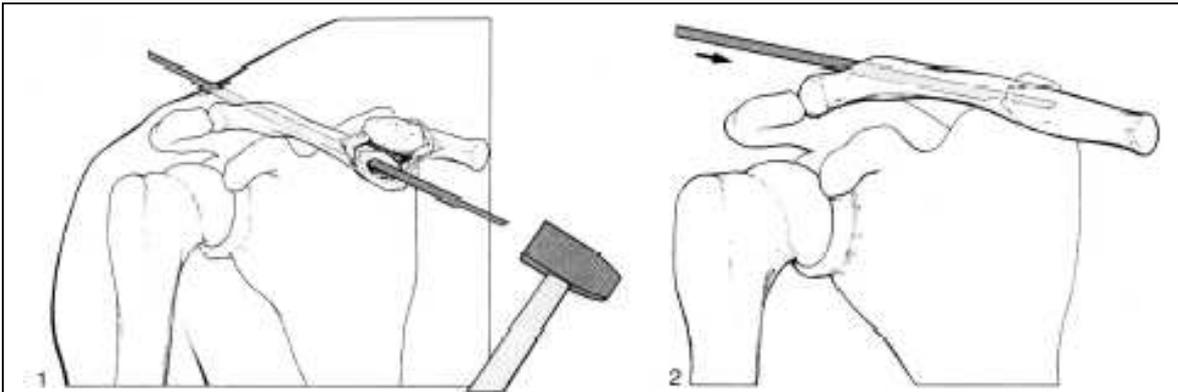


Abb. 2-44: offene Marknagelung nach Küntscher mit 1) Hervorhebeln des medialen Bruchstückes und Vorbohren der Markhöhle. Anschließend Einschlagen des Küntscher-Nagels durch das laterale Fragment nach außen und 2) Reposition der Fraktur und Zurückschlagen des Nagels bis in das sternale Fragment (Schema, Niemeier 1990)

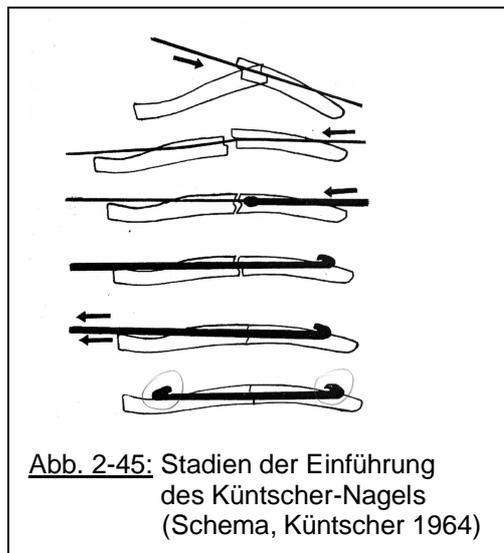


Abb. 2-45: Stadien der Einführung des Küntscher-Nagels (Schema, Küntscher 1964)



Abb. 2-46: Therapie einer Claviculapseudarthrose mit dem Küntscher-Nagel (Röntgenaufnahme, Küntscher 1964)



Abb. 2-47: offene Marknagelung mit dem Küntscher-Nagel (Röntgenaufnahme, Niemeier 1990)

Kanülierte Herbert-Knochenschraube:

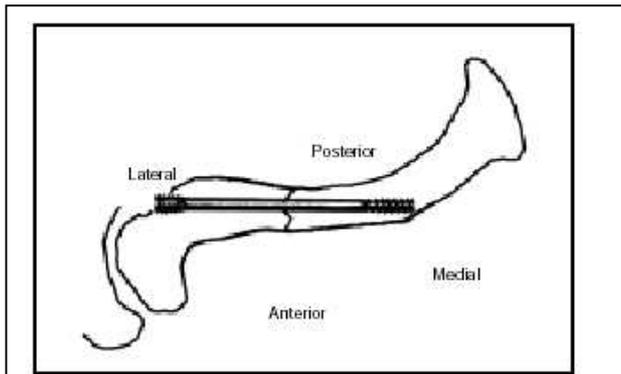


Abb. 2-48: kanülierte Herbert-Knochenschraube implantiert (Schema, Proubasta 2004)



Abb. 2-49: kanülierte Herbert-Knochenschraube implantiert (ap-Röntgenaufnahme, Proubasta 2004)

Intramedulläre AO-Spongiosa-Schraube:

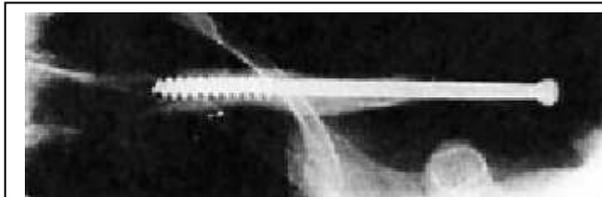


Abb. 2-50: Intramedulläre AO-Spongiosaschraube (in situ, ap-Röntgenaufnahme, Hoe-Hansen 2003)

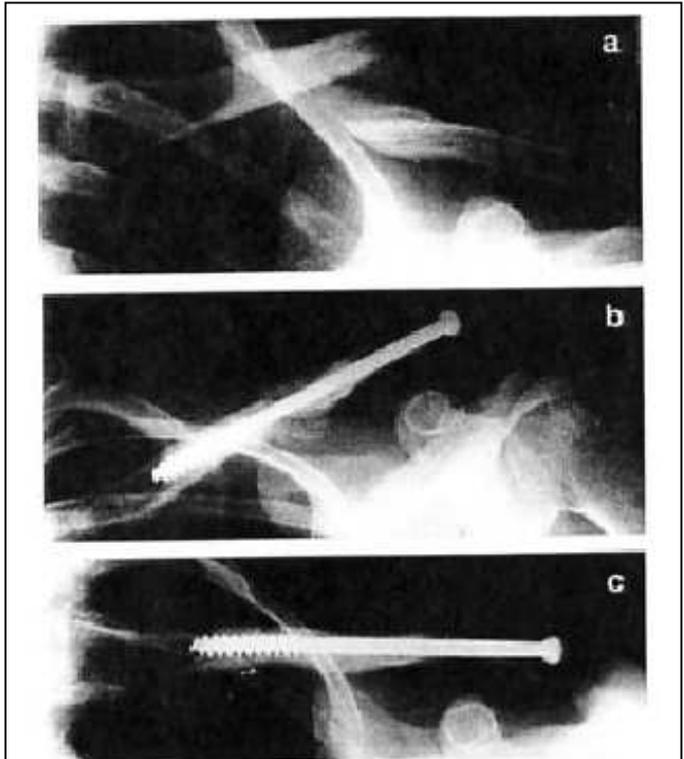


Abb. 2-51: a) Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels, b) nach Osteosynthese mit einer intramedullären AO-Spongiosaschraube, c) nach erfolgreicher knöcherner Konsolidierung (ap-Röntgenaufnahme, Hoe-Hansen 2003)

2.5.2.3. Weitere Materialien und OP-Techniken

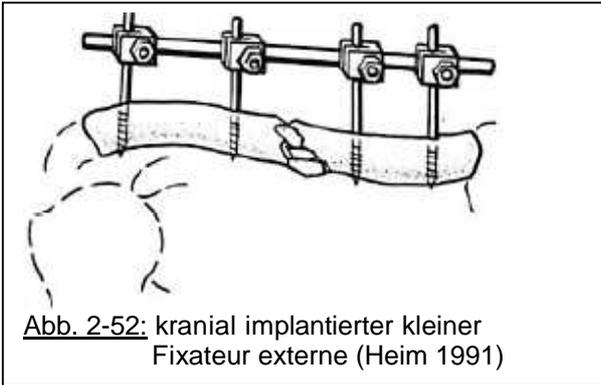


Abb. 2-52: kranial implantierter kleiner Fixateur externe (Heim 1991)

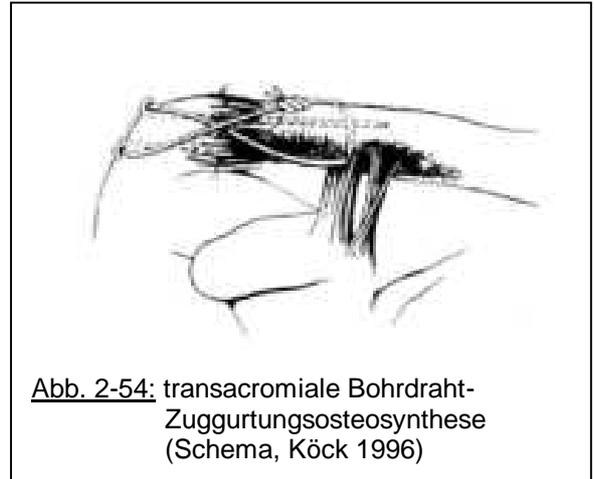


Abb. 2-54: transacromiale Bohrdrabt-Zuggurtungsosteosynthese (Schema, Köck 1996)



Abb. 2-53: Fixation einer Claviculafraktur im Jahre 1905 (links) und vor wenigen Jahren mit einem Fixateur externe (Nowak 2002)

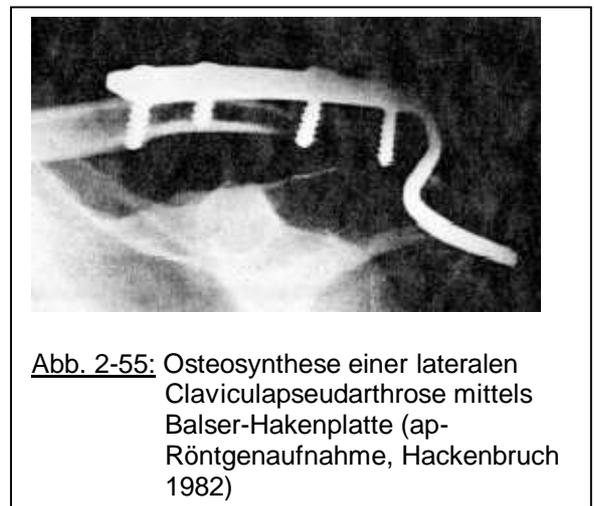


Abb. 2-55: Osteosynthese einer lateralen Claviculapseudarthrose mittels Balser-Hakenplatte (ap-Röntgenaufnahme, Hackenbruch 1982)

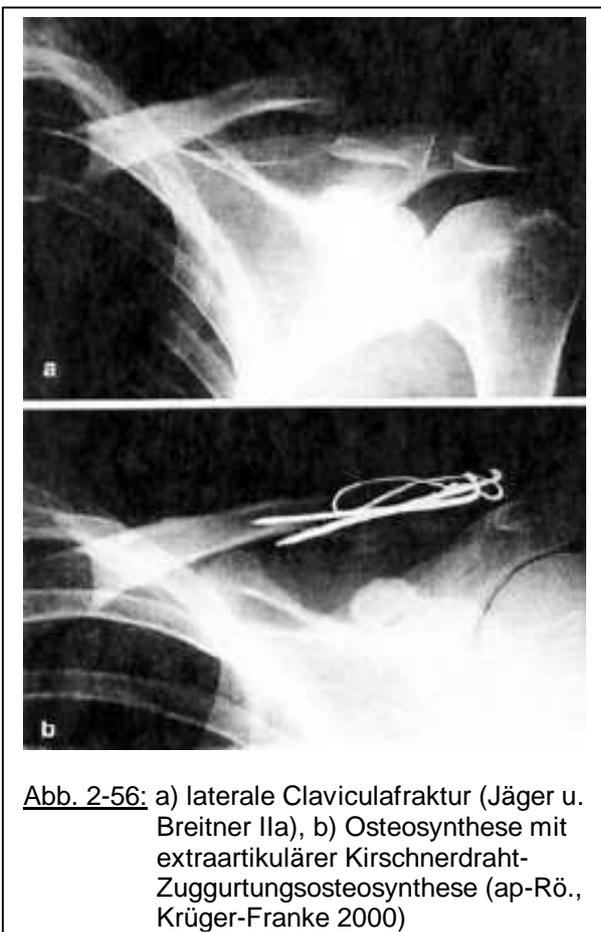


Abb. 2-56: a) laterale Claviculafraktur (Jäger u. Breitner IIa), b) Osteosynthese mit extraartikulärer Kirschnerdraht-Zuggurtungsosteosynthese (ap-Röntgenaufnahme, Krüger-Franke 2000)



Abb. 2-57: Osteosynthese einer lateralen Claviculapseudarthrose (Neer II) mittels Spongiosaplastik, Zugschraube und Dacron-Cerclage (ap-Röntgenaufnahme, Webber 2000)

2.6. Fragestellungen

Als Einzelfragestellungen wurden definiert:

Epidemiologie:

- Häufigkeit der Claviculapseudarthrose (gesamt, alters- bzw. geschlechtsspezifisch)
- Häufigkeit medialer, mittlerer und lateraler Claviculapseudarthrosen
- Häufigkeit symptomatischer und asymptomatischer Claviculapseudarthrosen
- Häufigkeit hypertropher und atropher Claviculapseudarthrosen

Ätiologie:

- Ursachen der Claviculapseudarthrosen (Primärtrauma, Primärtherapie, ...)
- präoperative Symptome bei Claviculapseudarthrose
- Zeitdauer Primärtrauma (Claviculafraktur) bis Therapie der Claviculapseudarthrose

Therapie:

- Art und Häufigkeit der Therapieformen bei Claviculapseudarthrose
- osteosynthesefördernde Therapien
- postoperative Komplikationen und Symptome bei Osteosynthese der Claviculapseudarthrose
- Knochenheilungszeiten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose
- Knochenheilungsraten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose
- Follow-Up-Zeiten bei Osteosynthese der Claviculapseudarthrose

3. Grundlagen der Clavicula, Claviculafraktur und Pseudarthrose allgemein

3.1. Begriff, Anatomie und Funktion der Clavicula

Begriff

Der Begriff Clavicula (Klavikula, Klavikel, Clavicel, Schlüsselbein; engl.: clavicle, collarbone) entstammt der lateinischen Sprache (clavis = Schlüssel) und erklärt sich aus der historischen Assoziation der Form dieses Knochens mit einem Tempelschlüssel der homerischen Zeit. Veraltete Bezeichnungen für die in der Literatur vergleichsweise häufig zitierte Clavicula sind u.a. auch Brustschliessen, Cleidion, Drosselbein, Fierkel, Furcula, Gäbelin, Gaffeln, Kampbain, Kaehlbein, Kehlbein, Kehlgebein, Os jugulare, Schlüssel der Brust, Schlüsselknochen, Trosselbain (Torklus 1995).

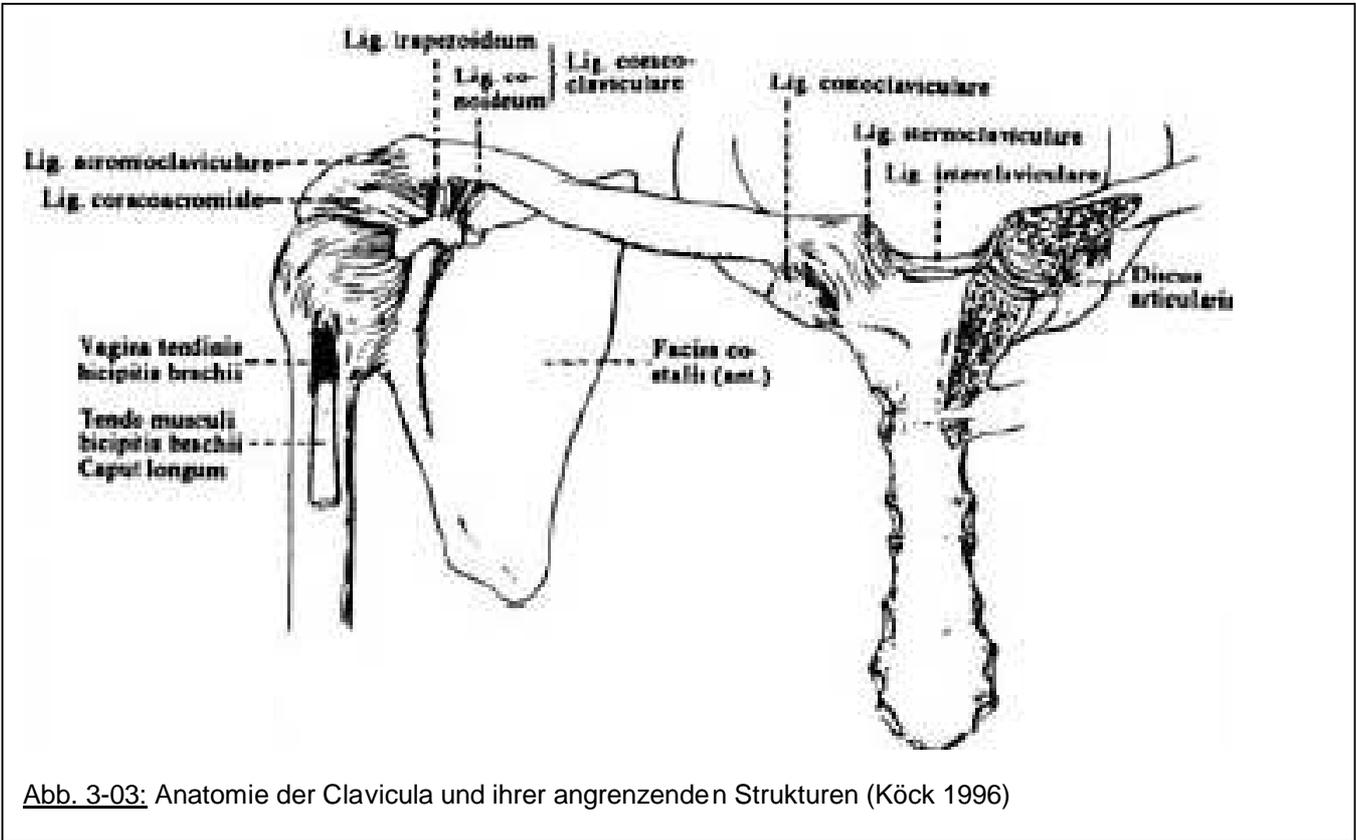
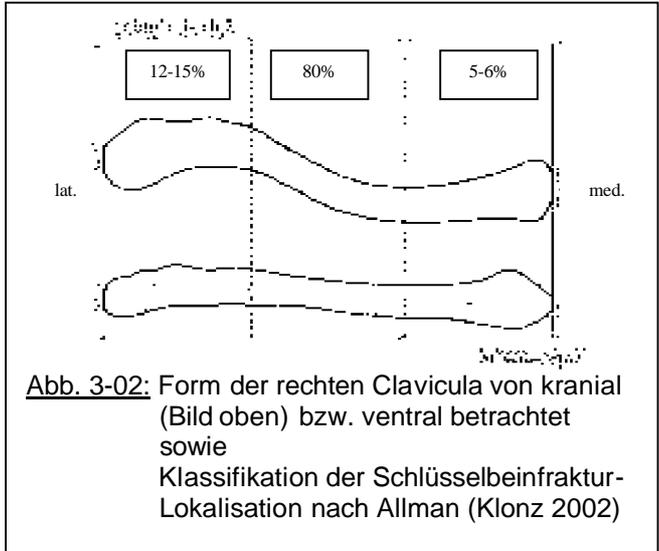
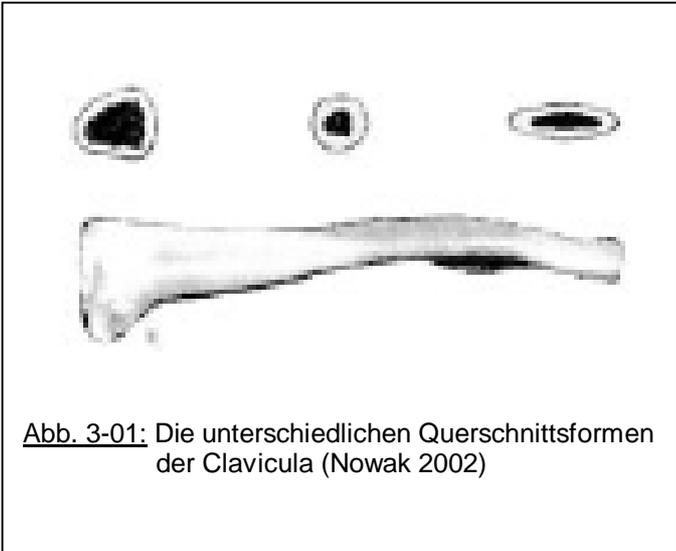
Die Clavicula ist der Knochen im Körper des Menschen mit der frühesten Ossifikation (bereits ab der 5. SSW in utero) und der einzige lange Knochen (long bone), der sich durch intramembranöse Ossifikation aus einem einzigen zentral gelegenen Ossifikationszentrum entwickelt. Sekundäre Verknöcherungszentren entwickeln sich an beiden Enden des wachsenden Knochens (Ogden 1979, Ogden 1984). Der am weitesten medial gelegene Knochenkern ist dann für ca. 80% des Längenwachstums der Clavicula verantwortlich. Die mediale Epiphyse verknöchert erst nach dem 20. Lebensjahr (Gardner 1968, Moseley 1968, Mullaji 1994, Simpson 1996).

Problematisch ist, dass in der knöchernen Reifung der Clavicula jeder Anteil des Knochens verstärkt wird mit Ausnahme des äußeren Anteils des mittleren Drittels, d.h. die Stelle am Übergang der beiden Krümmungen der Clavicula. Dies ist die dünnste und schwächste Stelle des Knochens (Abbn. 3-01 und 3-02), wo er nicht durch Bänder oder Muskeln verstärkt wird. Tatsächlich ist dies als ‚*Punctum minoris resistentiae*‘ (Knöfler 1962) die Stelle am Knochen, wo sich die meisten, vor allem indirekte Frakturen, ereignen (Berkheiser 1937).

Aufgrund seiner besonderen Eigenschaften bezeichnet Neer die Clavicula als ‚Nonkonformist‘, also einem nicht mit den anderen Knochen konformen Knochen: „*The clavicle, as a bone, is a nonconformist*“ (Neer 1960) und begründet dies u.a. mit deren Sonderstellung während der embryonalen Ossifikation und ihrer lebenslänglichen besonderen Fähigkeit hinsichtlich Knochenbildung und Heilung.

Anatomie der Clavicula

Die Clavicula ist ein von kranial betrachtet S-förmiger, von vorne gesehen gerader und horizontal verlaufender Knochen (Abb. 3-02) zwischen Sternum und Acromion und wird den langen Röhrenknochen zugeordnet. Sie ist über die gesamte Länge direkt unter der Haut gelegen. Die Clavicula ist ein Teil des Schultergürtels, der den Rumpf und die obere Extremität verbindet. Medial ist die Clavicula anterokonvex, lateral posterokonvex geformt. Diese Krümmung ist in der Regel bei Männern aufgrund des höheren Muskelzuges stärker ausgeprägt. Die Clavicula misst in der Länge 15-17 cm. Im mittleren Teil ist ihr Querschnitt eher röhrenförmig, während sie weiter distal eher einen dünnen, flach-ovalen und medial einen dreiecksförmigen Querschnitt hat (Abb. 3-01). Das mittlere (zentrale) Drittel der Clavicula hat einen geringeren Knochenmark-Anteil und keine muskuläre Bedeckung wie das mediale bzw. laterale Ende.



Die Clavicula wird an beiden Enden durch eine Kombination von kräftigen Bändern und Gelenkkapseln sicher gehalten und trägt eine Vielzahl muskulärer Ansatzstellen und Ursprünge entlang ihres Verlaufs (Abb. 3-03 und 3-04).

Die nervale Versorgung der Clavicula wird durch den Plexus cervicalis erreicht, der die Nn. supraclaviculares über der Clavicula in der superfizialen Faszie ausbreitet.

3 verschiedene Arterien bestimmen die Blutversorgung der Clavicula. Die suprascapulare Arterie versorgt die lateralen 4/5 des Schlüsselbeins in einer posteroinferioren Beziehung zum Knochen. Der inferoanteriore Anteil des Knochens wird durch die thoracoacromiale Arterie versorgt. Die A. thoracica interna (mammaria) gewährleistet die Perfusion des sternalen Fünftels der Clavicula und des SC-Gelenks. Die Hauptversorgung erfolgt primär periostal. Aa. nutrientes existieren nicht (Knudsen 1989).

Neben der Länge der Clavicula werden noch weitere metrische Maße der Clavicula verwendet, wie z.B. der Claviculaumfang, der Clavicula-Humeral-Index, der Claviculamitte-Durchmesser in vertikaler und sagittaler Richtung, der Clavicula-Querschnitt-Index und der Clavicula-Längen-Dicken-Index (Torklus 1995).



Abb. 3-04: Die Muskelansätze an der Clavicula von ventral: 1) M. deltoideus 2) M. trapezius 3) M. sternocleidomastoideus 4) M. pectoralis major (Nowak 2002)

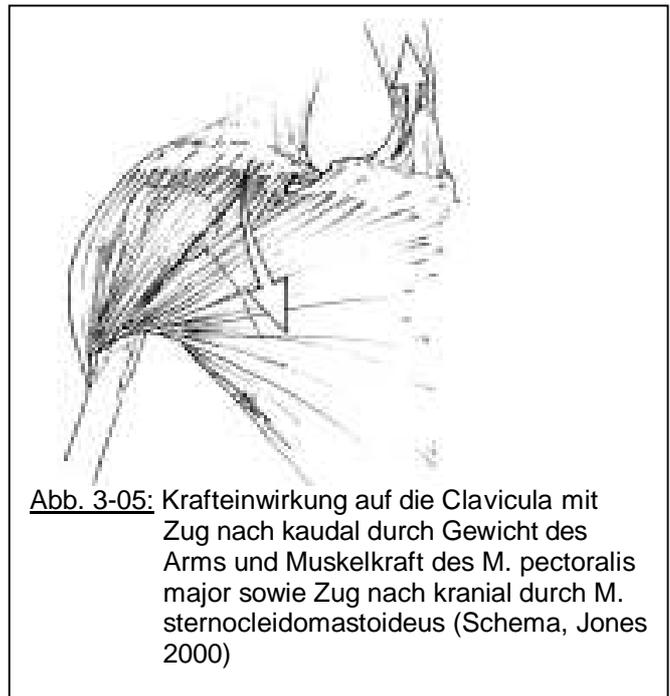


Abb. 3-05: Krafteinwirkung auf die Clavicula mit Zug nach kaudal durch Gewicht des Arms und Muskelkraft des M. pectoralis major sowie Zug nach kranial durch M. sternocleidomastoideus (Schema, Jones 2000)

Funktion der Clavicula

Die Clavicula bietet aufgrund ihrer Lage den direkt darunter im costoclaviculären Raum durchlaufenden neurovaskulären Strukturen sowie der Pleurakuppe idealen Schutz (Klonz 2002).

Die Clavicula ist als Bestandteil des Scapula-Clavicula-Humerus-Komplexes (SCH-Komplex) die einzige skelettale Verstrebung, die den Stamm mit dem Schultergürtel und dem Arm verbindet und der einzige Knochen des Schultergürtels, der eine Gelenkverbindung mit dem Stamm bildet (Ljunggren 1979, Mullaji 1994). Somit spielt sie eine integrale Rolle bei der Biomechanik der Schulter und bei der Funktion der oberen Extremität (Jupiter 1989).

Die Clavicula wirkt als knöchige Verstrebung, welche den Brustkorb mit der oberen Extremität verbindet und dieser Kraft und Stabilität verleiht, besonders bei den Überkopf-Bewegungen. Sie überträgt auch die unterstützenden Kräfte des M. trapezius auf die Scapula über die intakten coracoclaviculären Bänder. Während der Elevation des Arms ist die Wirkung des M. trapezius dafür verantwortlich, dass die Clavicula um ca. 30° über die sternoclaviculäre Achse angehoben wird. Wenn das coracoclaviculäre Ligament unversehrt

ist, wird diese Kraft auf die Scapula übertragen. Somit wird die frühzeitige Rotation der Scapula während der Anhebung des Armes durch die Bewegung der Clavicula initiiert. Von geringerer Bedeutung ist die Funktion der Clavicula hinsichtlich der Bildung eines Rahmens zur Anheftung der Muskeln und hinsichtlich dem Schutz der Subclavia-Gefäße und des Plexus brachialis (Abott 1954, Simpson 1996).

Die Clavicula bildet eine anatomische Verstrebung, um das Glenohumeral-Gelenk in der parasagittalen Ebene zu halten. Dadurch wird der Bewegungsumfang im Schultergelenk und die Stärke des Arm-Rumpf-Mechanismus vergrößert (Laursen 1999).

Der intakten Clavicula wird dabei eine wesentliche Rolle im präzisen, kraftvollen und zugleich variablen Einsatz des Armes zugeschrieben. Zwischen Rumpf und Arm ist sie die einzige knöcherne Verbindung, die den Arm lateralisiert und positioniert und ihm zusätzliche Freiheit gewährt. Bei der Abduktion des Armes z.B. stellt sie sich selber im Sternoclaviculargelenk etwa 30° nach oben und nach rückwärts auf und rotiert um etwa 50° um die longitudinale Achse. Im Zusammenspiel mit Muskeln und Bändern kann das Schlüsselbein wie der Arm eines Kranes Druck-, Zug- und Rotationskräfte aufnehmen und den Arm im Raum stabilisieren (Craig 1990, Klönz 2002).

Die anatomische und funktionelle Bedeutung der Clavicula wird nicht von allen Autoren als essentiell bewertet. Gurd behauptet: *„The clavicle does not act as a strut nor does it support the shoulder. That these statements are true is proven, I believe, by the fact that the complete removal of the clavicle is not followed by either shortening of the distance from the tip of the shoulder to the midline of the body, nor by drooping of the shoulder on the affected side. Apart from its function in serving for the attachment of muscles, this bone serves no useful purpose“* (Gurd 1947). Und Wood äußert: *„In fact, the clavicle is accessory baggage of the skeleton“* (Wood 1986).

3.2. Bedeutung und Epidemiologie der Claviculafraktur

Häufigkeit der Claviculafraktur

Die Claviculafraktur gehört neben der distalen Radiusfraktur und der Schenkelhalsfraktur zu den häufigsten Frakturen den Menschen. Hofmann beschreibt das Schlüsselbein sogar als den am häufigsten von einer Fraktur betroffenen Knochen (Hofmann 1988). Bei Erwachsenen stellt sie 5-16% (Tab. 3-01) aller Frakturen dar (Rattenhuber 1973, Op den Winkel 1980, Rabenseifner 1981, Manske 1985, Eskola 1986-1, Eskola 1986-2, Connolly 1987, Nordqvist 1993). Die Claviculafraktur ist insbesondere die häufigste Fraktur im mittleren Lebensabschnitt des Erwachsenen und mit 20-25% auch die häufigste kindliche Fraktur (Marsh 1970, Pyper 1978, Connolly 1981, Pannike 1982), teilweise als perinatale Claviculafraktur mit einer Häufigkeit von 3-7 auf 1000 Geburten geburtstraumatisch bedingt (Torklus 1995, Klönz 2002). Damit sind Claviculafrakturen bei weitem die häufigsten geburtsbedingten Frakturen der Neugeborenen.

Im Bereich der Verletzungen im Schultergürtels treten Claviculafrakturen mit einem Anteil von 33-44% auf (Rowe 1968, Nordqvist 1994, Nordqvist 1995, Middleton 1995, Craig 1996, Ring 1998, Kitsis 2003).

Inzidenz der Claviculafraktur

Nach Robinson beträgt die Jahresinzidenz der Claviculafraktur, bestimmt in einer epidemiologischen Studie in Schottland 29,1 Claviculafrakturen pro 100.000 Einwohner und Jahr (Robinson 1998). Nordqvist in Schweden gibt eine höhere Rate an: 50 pro Jahr bzw. 86 männliche und 44 weibliche Claviculafrakturen pro 100.000 Einwohner und Jahr

(Nordqvist 1994, Nordqvist 1995). Nowak ermittelt eine Gesamtinzidenz von 50,3, wobei auch er eine signifikant höhere Inzidenz bei Männern (71,1) gegenüber Frauen (30,5) feststellt (Nowak 2000). Andere Quellen sprechen von 100 Claviculafrakturen pro 100.000 Einwohner und Jahr (Unister 2004). Bei Männern im Alter von 15-19 Jahren liegt die Inzidenz sogar bei 150 (Nordqvist 1994).

Die Inzidenz der Claviculafrakturen und deren Schwere scheint nach Angaben einiger Autoren seit Jahrzehnten stetig zuzunehmen (Everke 1969). Berkheiser, Nordqvist bzw. Wentz nennen dafür eine Reihe von Faktoren, besonders die zunehmende Anzahl der Straßenverkehrsunfälle und die steigende Popularität unfallträchtiger Sportarten und Freizeitaktivitäten (Berkheiser 1937, Nordqvist 1994, Wentz 1999).

Tab. 3-01: Anteil der Claviculafraktur an den Frakturen des Erwachsenen

Autor	Jahr	Anteil (%)
Gurlt	1862	15
Lossen	1889	15
Helferich	1898	15
Bürkle de la Camp	1932	10,3
Moore	1951	5-10
Brunelli	1953	6-8
Kuzminskij	1953	10-15
Carstensen	1956	6,4
Key	1956	5-10
Karitzky	1956	10,3
Crone-Münzebrock	1959	12
Neer	1960	5
Knöfler	1962	7,3
Nevasier	1963	12
Bako	1965	8-12
Schulz	1966	7,3-16
Lilienberg	1967	10-15
Refior	1970	6-16
Koch	1971	6,4
Eberle	1973	10-16
Olsen	1995	5-16
Jones	2000	5-10
Klonz	2002	10-15
Rang		5-16

Androtropie der Claviculafraktur

Hinsichtlich der geschlechtsspezifischen Häufung wird die männliche Prädominanz im Bereich von 1,4 : 1 bis 3,6 : 1 angegeben (Nowak 2000).

Patientenalter bei Claviculafraktur

Das typische mittlere Patientenalter bei Fraktureintritt liegt bei Männern bei 30 Jahren und Frauen bei 39 Jahren (Nowak 2002). Die geschlechtsspezifischen Altersgipfel liegen bei Männern vor dem 25. und zwischen dem 35. und dem 55. Lebensjahr, bei Frauen vor dem 25. und nach dem 75. Lebensjahr (Unister 2004).

Lokalisation der Claviculafraktur

Nach Nowak ist die linke Clavicula mit 52% etwas häufiger von Frakturen betroffen als die rechte mit 48% (Nowak 2002).

Hinsichtlich des Abschnitts der Clavicula (Tab. 3-02, Abb. 3-06) sind Frakturen des *mittleren* Drittels mit einer Häufigkeit von 67% (Neer 1960) bis 80% (Cave 1958, Sakellaridis 1961) am meisten unter den Claviculafrakturen vertreten (Pyper 1978, Wentz 1999). Sie treten häufig in Form von Schräg- oder Keilfrakturen auf (Siewert 1998). Rowe findet unter 690 Claviculafrakturen 82% im mittleren Clavicula-Abschnitt, wobei davon 44% sich am Übergang von mittlerem zum äußeren Drittel ereignen und 38% das mittlere Drittel direkt betreffen (Rowe 1968).

Tab. 3-02: Lokalisation der Claviculafrakturen

Autor	Jahr	Pat.zahl	sternales Drittel (%)	mittleres Drittel (%)	laterales Drittel (%)
Cave	1958			80	
Neer	1960			67	
Sakellaridis	1961			80	
Rowe	1968	690		82	
Eberle	1973	314	3	81	16
Pannike	1982		2-10	50-80	10-18
Leitl	1987	37	3	62	35
Stanley	1988-2			75	
Hirschmann	1992		2-5	80-92	
Simpson	1996		5	75-80	10-15
Klonz	2002		2-5	80	15
Nowak	2002	185	2	71	27
Robinson	2004		3 ^{a)}	67 ^{b)}	30 ^{c)}
Rang			2-10	62-92	10-35

a = sternales Fünftel, b = mittlere drei Fünftel, c = laterales Fünftel der Clavicula

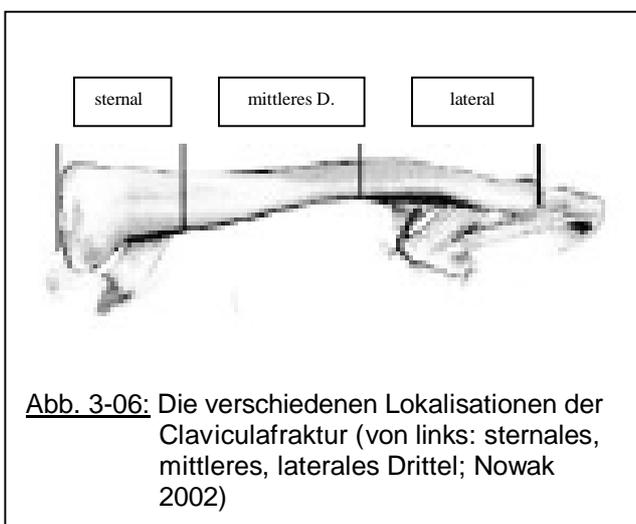


Abb. 3-06: Die verschiedenen Lokalisationen der Claviculafraktur (von links: sternales, mittleres, laterales Drittel; Nowak 2002)



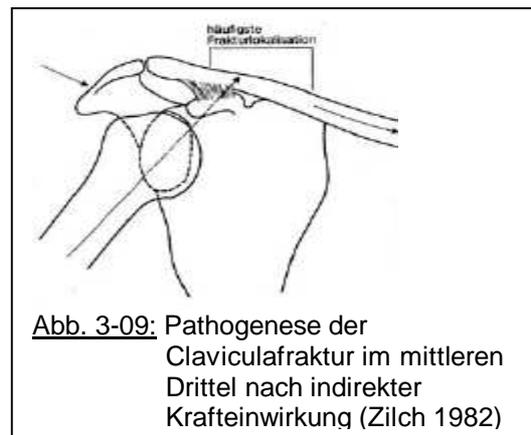
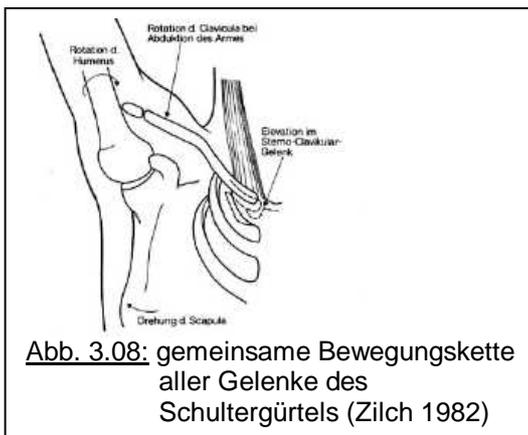
Abb. 3-07: Dislozierte Claviculafraktur im mittleren Drittel (ap-Röntgenaufnahme, Medicine-Worldwide 2005)

Das *laterale* (acromiale) Drittel mit 10-15% und das *mediale* (sternale) Drittel sind mit ca. 5% an der Häufigkeit der Claviculafraktur beteiligt (Simpson 1996). Eberle wertet 314 Claviculafrakturen röntgenologisch aus: 81% mittleres Drittel, 16% laterales Drittel, 3% mediales Drittel (Eberle 1973). Robinson nennt in einer kürzlich veröffentlichten Studie folgende Verhältnisse der Fraktur-Lokalisation: 67,3% diaphysär (mittlere drei Fünftel der Clavicula), 30,3% im lateralen Fünftel und 2,8% im sternalen Fünftel (Robinson 2004).

3.3. Pathogenese, Symptome und Diagnose der Claviculafraktur

Pathogenese

Die traumatische Claviculafraktur entsteht meist als indirekter Biegungsbruch (Tab. 3.03) beim Sturz auf die Schulter, den Ellenbogen oder den gestreckten Arm bzw. seltener durch direkte Gewalteinwirkung (Ewerwahn 1963, Rowe 1968, Moseley 1968, Connolly 1981). Über 94% aller Claviculafrakturen werden durch eine direkte Kraft gegen die seitlichen Bereiche der Schulter meist als Folge eines ungebremsten Sturzes auf die Schulter verursacht, vielmehr als durch den Sturz auf die ausgestreckte Hand (Eliason 1928, Kohaus 1980, Middleton 1995, Klonz 2002). Bei dieser indirekten Krafteinwirkung kommt es durch Überbeanspruchung in der Gliederkette zu einem Bruch des schwächsten Gliedes, oft des Schlüsselbeins im mittleren Abschnitt (Abbn. 3-08 und 3-09), einer Art Stauchungsfraktur der Clavicula (Kohaus 1980, Zilch 1982). Es können dabei unterschiedliche Grade von Dislokationen und Zersplitterungen der Clavicula entstehen.



Tab. 3.03: Anteil der Claviculafrakturen nach Traumaart

Autor	Jahr	direktes Trauma (%)	indirektes Trauma (%)
Eliason	1928	6,0	94,0
Buda	1958	14,3	85,7
Ewerwahn	1963	3,9	96,1
Bako	1965	5,1	94,9
Koch	1971	2,4	97,6
Eberle	1973	13,0	83,0
Schmit-Neuerburg	1982	27,0	73,0
Hofmann	1988	8-27	70-92
Rang		2,4-27	70-97,6

Claviculafrakturen stellen häufige Sportverletzungen, v.a. beim Reiten, Judo, Fußballspielen, Radfahren, Skifahren, Ringen und Schießsport dar (Hofmann 1988). Tab. 3-04 listet Sportarten auf, bei denen claviculäre Strukturen prädestiniert für bestimmte akute Verletzungen oder durch rezidivierende Mikrotraumen hervorgerufene Sportschäden sind.

Tab. 3-04: Typische durch Sportarten bedingte Läsionen im Claviculabereich (Torklus 1995)

Sportart	Claviculafraktur	AC-Gelenk-Läsion	SC-Gelenk-Läsion	Andere Läsionen
American Football	x	x		Schulterluxation
Basketball		x		
Eishockey	x	x		Schulterluxation, Clavicula-Osteolyse
Handball		x		Impingement-Syndrom
Kampfsport	x			Schulterluxation
Reiten	x	x		Humerusfraktur
Rugby		x		Schulterluxation
Skilaufen	x	x		Humerusfraktur
Squash		x		
Ringen		x	x	

Besonders unfallträchtig in Bezug auf Claviculafrakturen wird von Middleton der bereits von Spar als gefährlichster Sport Großbritanniens eingestufte Reit- und Pferdesport bezeichnet (Spar 1977, Middleton 1995). So entfielen während einer 9-jährigen Beobachtungszeit von knöchernen Verletzungen bei englischen National Hunt Jockeys 41% auf die Claviculafraktur. Interessanterweise ereignete sich auch eine der ersten dokumentierten, historisch bedeutsamen Claviculafrakturen bei einem fatalen Reitunfall, als König William III 1702 von seinem Pferd stürzte und nach dreiwöchiger stetiger Verschlechterung an dessen Folgen verstarb (Yates 1976, Middleton 1995).

Über die Häufigkeit von Claviculafrakturen durch direkte Krafteinwirkung auf die Schulter bei Hochgeschwindigkeits- und Kontaktsportarten berichtet Stanley (Stanley 1988-2). Eher selten treten Schlüsselbeinbrüche bei Verkehrsunfällen infolge der Krafteinwirkung durch den Sicherheitsgurt als typische Gurtverletzungen auf. Äußerst selten, aber ein typischer Fall von direkter Gewalteinwirkung ist die sogenannte Rückschlagfraktur beim Bedienen eines Gewehres, das ungünstig in der Schulter gestützt wird (Kohaus 1980). Direkte Traumen verletzen nach Torklus häufig das laterale Drittel (Torklus 1995).

Durch den Bruch des Schlüsselbeins verliert der Schultergürtel seinen ‚Kranarm‘, der ihn nach lateral auslagert. Das Glenohumeralgelenk, zusammen mit dem lateralen Bruchfragment, fällt nunmehr durch die Schwerkraft und den Zug des M. pectoralis major nach vorne und unten. Über den M. sternocleidomastoideus wird das mediale Claviculafragment nach oben und hinten gezogen (Abb. 3-10). Die Diastase zwischen lateralem und medialem Fragment wird begünstigt, die Retention eines etwaigen Repositionsergebnisses gefährdet (Klonz 2002).

Abgrenzend zu traumatischen Claviculafrakturen können diese auch als Stressfrakturen auftreten (Caviedes 1963, Pannike 1982). Peris unterscheidet hierbei *Ermüdungsfrakturen* normaler Schlüsselbeine durch Überbeanspruchung bei jüngeren Patienten und *Insuffizienzfrakturen* geschwächter Knochen bei älteren Menschen (Peris 2003). Bei den Ermüdungsfrakturen entsteht durch wiederholte Mikrotraumatisierung eine schleichende

Fraktur (Torklus 1995). Derartige Ermüdungsfrakturen treten bei typischen professionellen, einseitig belastenden Sportarten wie z.B. Gewichtheben, Baseball, Trapschießen oder bei stereotypen repetitiven Bewegungsabläufen, aber auch bei Soldaten auf (Torklus 1995). Auch plötzliche Muskelanspannungen sollen zu Schlüsselbeinbrüchen führen können (Pannike 1982). Insuffizienzfrakturen sind häufiger anzutreffen bei Patienten mit Osteoporose, rheumatoider Arthritis, nach Radiotherapie oder Therapie mit Corticosteroiden, neurologischen Störungen, Neck Dissektion und Mastektomie (Peris 2003). Die Stressfraktur der Clavicula kann sich als pseudotumeroöse Callusbildung zeigen und häufig mit onkologischen oder infektiösen Prozessen verwechselt werden (Calvo 1995).

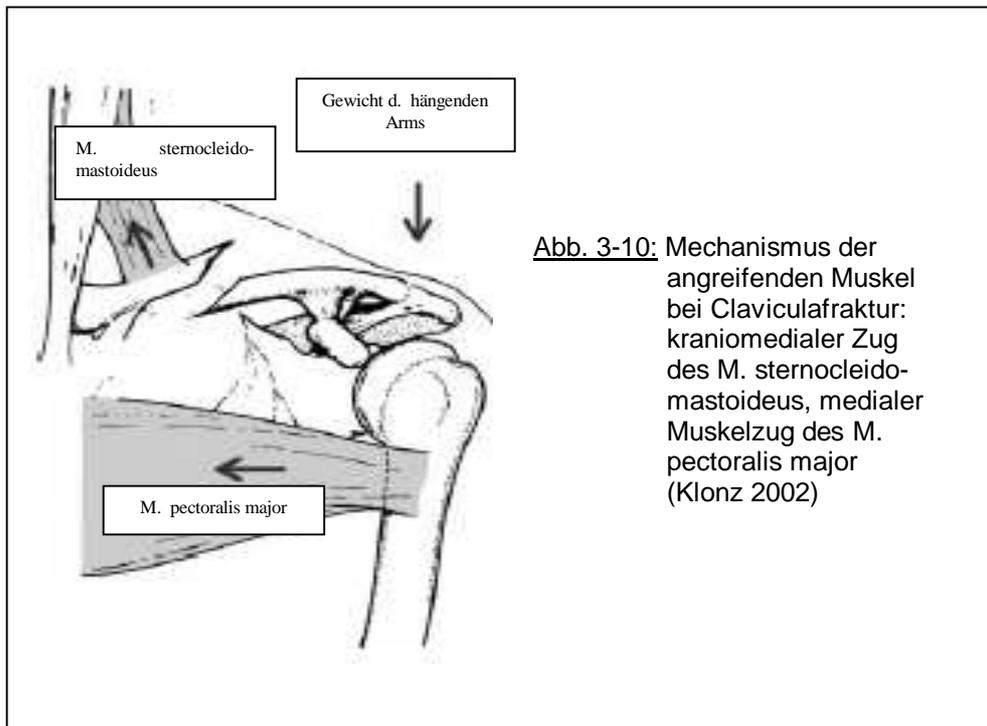


Abb. 3-10: Mechanismus der angreifenden Muskel bei Claviculafraktur: kraniomedialer Zug des M. sternocleidomastoideus, medialer Muskelzug des M. pectoralis major (Klonz 2002)

Eine Übersicht über verschiedene Unfallursachen von Claviculafrakturen gibt Leitl als Ergebnis seiner Auswertung von Patientenakten aus den Jahren 1964 bis 1983 an der Orthopädischen Universitätsklinik München-Harlaching (Leitl 1987, Tab. 3-05). Ähnliche Daten legt Hofmann mit 37,5-50% für Verkehrsunfälle und 25-35% für Sportverletzungen vor (Hofmann 1988).

Tab. 3-05: Unfallursachen von Claviculafrakturen (Leitl 1987)

Unfallursache	Pat.zahl	Pat. (%)
Verkehr	37	49,3
Sport	24	32,0
Arbeit	2	2,7
Sonstige	12	16,0
Gesamt	75	100,0

Symptome und Diagnostik

Posttraumatisch gehen Claviculafrakturen häufig mit lokalen Schwellungen einher, teilweise begleitet von einer sicht- und tastbaren Stufenbildung des Schlüsselbeins. Eine deutliche Dislokation liegt in mehr als der Hälfte aller Claviculafrakturen vor. Typischerweise ist das mediale Fragment durch den Zug des M. sternocleidomastoideus nach kranial disloziert während das laterale Fragment durch das Gewicht des Armes und den Zug des M. deltoideus nach kaudal gezogen wird. In einigen Fällen erscheint die Clavicula verkürzt. Der Oberarm wird häufig in Schonhaltung an den Rumpf angelegt und die Schulter tritt leicht nach vorn und/oder hängt herab. Bei Bewegung des Arms besteht auf der betroffenen Seite ein Druck- und Bewegungsschmerz.

In einer retrospektiven Studie untersucht Matis 157 Patienten mit einer Claviculafraktur und weist bei 44% eine Schlüsselbeinverkürzung von mehr als 0,5 cm aus. Bereits ab diesem Ausmaß der Verkürzung liegt nach seinen Ergebnissen klinisch eine signifikante Verschlechterung der Schulterfunktion vor ($p < 0.01$), was jedoch von den meisten Patienten erst ab einer Verkürzung von 1,0 cm wahrgenommen wird. Bei Verkürzungen über 1 cm verschlechtert sich die Schulterfunktion weiter signifikant und kann bei Werten größer als 2 cm als mäßig bis schlecht eingestuft werden (Matis 1999).

Die exponierte Lage des Schlüsselbeins erlaubt häufig eine Blickdiagnose bei Claviculafraktur. In der Regel ist die Dislokation der Frakturfragmente der Clavicula bei üblicher Bruch-Lokalisation in Knochenmitte erheblich. So bestehen bei der Inspektion und falls notwendig, bei Entlangführen des Fingers an der subkutanen Knochenbegrenzung meist wenig Zweifel, dass der Knochen gebrochen ist, weil gewöhnlich das scharfe unregelmäßige Ende des medialen Fragments unter der Haut gefühlt werden kann und eine Wiederherstellung der normalen Schlüsselbeinkontur nur durch Anheben der Schulter über ihre normale Lage hinaus möglich ist (Bailey 1991).

Neben der Anamnese und den häufigeren klinischen Symptomen wie Schmerzen, Schwellung, Frakturzeichen, Schonhaltung ist auch auf eher seltener vorkommende Verletzungen der Nerven und Gefäße, die den Arm der betroffenen Seite versorgen, zu achten. Dabei können Sensibilitäts- und Perfusionsstörungen des Armes sowie größere Hämatome auftreten. Bei Verdacht auf arterielle Verletzungen wird eine Angiographie durchgeführt.

Bei Bruch des *medialen* Endes liegt oft eine ‚Einkeilung‘ vor sowie eine Verdickung dieses Knochenteils mit darüber liegender Druckschmerzhaftigkeit. Die Armbewegungen sind auch hier schmerzbedingt eingeschränkt (Torklus 1995). Zur differentialdiagnostischen Abgrenzung zur Schulterluxation ist in der Praxis häufig eine Computertomographie nötig.

Ein Bruch des *lateralen* Endes der Clavicula ist mitunter schwieriger zu erkennen, da das laterale Fragment durch das Lig. acromioclaviculare verankert sein kann und sich demzufolge keine Dislokation und nur geringe Schmerzen bei Bewegung des Armes finden. Bei der Frakturklassifikation der lateralen Claviculafrakturen hat die Beschaffenheit der Clavicula-Bänder eine zentrale Bedeutung (Tab. 3.08). Über der Frakturstelle besteht häufig eine gewisse Schwellung und eine bestimmte Druckschmerzhaftigkeit. Nicht selten wird die Fraktur von einem subkutanen Hämatom angezeigt. Bei ganz lateralen Frakturen können jedoch auch grobe Dislokationen entstehen, wenn das Lig. coracoclaviculare zerrissen ist (Torklus 1995, Siewert 1998).

Die Diagnose und die genaue Lokalisation aller Claviculafrakturen wird durch eine Röntgenaufnahme der Schulter mit dem Schlüsselbein in 2 Ebenen durchgeführt (Künlen 1962). Die Aufnahmetechnik ist üblicherweise im posterior-anteriorem Strahlengang. Eine

Schrägaufnahme mit kaudo-kranialer Kippung des Zentralstrahls von 45° ergänzt die Diagnostik.

Bei Verdacht auf Verletzung des Acromioclaviculargelenks (Bandriss am AC-Gelenk) und bei Beteiligung oder Verletzung des äußeren Drittels der Clavicula empfehlen sich weitere Röntgenaufnahmen mit der Aufnahme der Gegenseite unter Zug an beiden Armen als sogenannte Panoramaaufnahmen. Differentialdiagnostisch sind bei Verletzungen der Clavicula oder in deren anatomischer Umgebung auch an Läsionen des Sternoclaviculargelenks, des Acromioclaviculargelenks und der Scapula zu denken. Bei der seltenen *Floating Klavikel* (Torklus 1995) liegt eine panclaviculäre Dislokation vor, die durch eine traumatisch bedingte Luxation der Clavicula im Sternoclaviculargelenk und im Acromioclaviculargelenk verursacht wird. Bei der *Floating Shoulder* handelt es sich dagegen um eine Läsion des Schultergürtels, bei der sowohl die Clavicula als auch die Scapula frakturiert sind.

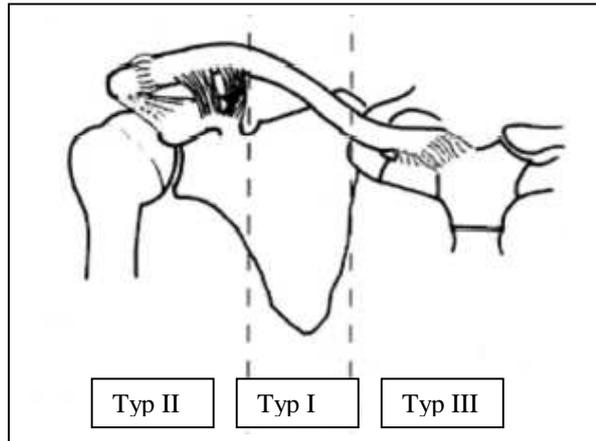
3.4. Klassifikation der Claviculafrakturen

Da Claviculafrakturen im medialen, diaphysären/mittleren und lateralen Knochenabschnitt auftreten können, versuchen die verschiedenen Klassifikationssysteme vor allem dieser lokalisationspezifischen Differenzierung gerecht zu werden. Überdies versuchen sie die Relation der Fraktur zu beteiligten Bandstrukturen zu berücksichtigen. Die ICD-10 klassifiziert die Fraktur der Clavicula unter S42.0 und unterscheidet dabei nur Frakturen im Schaftbereich bzw. am acromialen Ende, jeweils in einer geschlossenen bzw. offenen Form. Bekannte Klassifikationen der Claviculafraktur werden allgemein nach Allman, Craig, Orthep, Robinson bzw. Neer und Jäger-Breitner für laterale Frakturen vorgenommen:

Tab. 3-06: Klassifikationen der Claviculafrakturen

Allman	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fraktur im mittleren Drittel (Typ I) 2. Fraktur im lateralen Drittel (Typ II) 3. Fraktur im medialen Drittel (Typ III) 	Allman (1967)
Craig	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fraktur im mittleren Drittel 2. Fraktur im lateralen Drittel (5 Untergruppen bzgl. Lokalisation und Dislokationsgrad) 3. Fraktur im medialen Drittel (5 Untergruppen bzgl. Lokalisation und Dislokationsgrad) 	Craig (1990)
Orthep	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fraktur lateral der coracoclaviculären Bänder 2. Fraktur im Bereich der coracoclaviculären Bänder 3. Fraktur des lateralen Drittels, medial der coracoclaviculären Bänder 4. Fraktur des mittleren Drittels 5. Fraktur des medialen Drittels 6. mediale Epiphysenlösung (bei Kindern und Jugendlichen) 	Orthopädie Eppendorf, Hamburg
Robinson	Klassifikation der Claviculafrakturen in 6 Gruppen (s.u.)	Robinson (1998)
Jäger/ Breitner	Klassifikation der lateralen Claviculafraktur in 4 Typen (s.u.)	Jäger (1984)
Neer	Klassifikation der lateralen Claviculafrakturen in 3 Gruppen (s.u.)	Neer (1963)

Abb. 3-11: Einteilung der Claviculafrakturen nach Allman in Typ I-III (Herbsthofer 1994, korrig.)

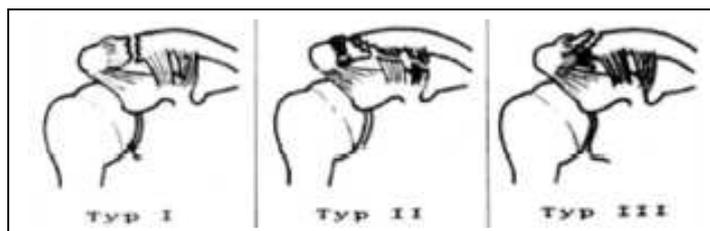


Die *lateralen* Schlüsselbeinfrakturen erfordern wegen ihrer unterschiedlichen Beziehung zum Schlüsselbein-Schulterblatt-Bandkomplex eine genauere Klassifikation als Grundlage für eine sachgerechte Therapieentscheidung. Eine erste Klassifikation der lateralen Claviculafrakturen wurde durch Neer vorgenommen. Seine Einteilung erfolgt in drei Gruppen, die sich in Therapie und Prognose unterscheiden (Neer 1963):

Tab. 3-07: Einteilung der lateralen Claviculafrakturen nach Neer (Neer 1963)

Typ 1	Fraktur zwischen Lig. acromioclaviculare und Lig. coracoclaviculare	Therapie konservativ
Typ 2	Fraktur in Höhe oder lateral des Lig. coracoclaviculare mit Zerreißung desselben	Therapie operativ
Typ 3	Fraktur des distalen Claviculaendes mit Beteiligung der acromioclaviculären Gelenkflächen	Therapie konservativ

Abb. 3-12: Einteilung der lateralen Claviculafrakturen nach Neer 1968 (Herbsthofer 1994)

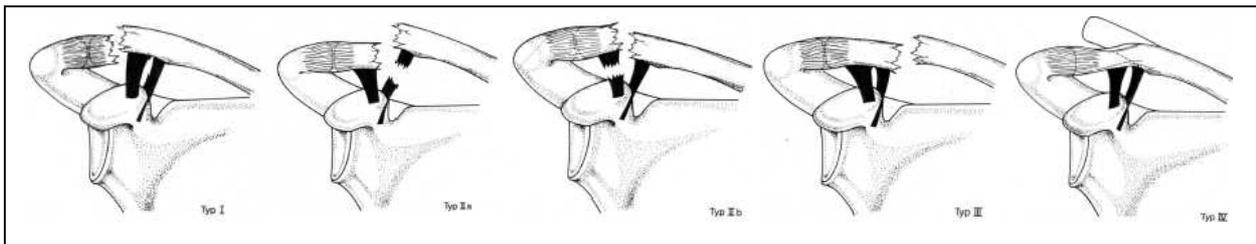


Nach der Einteilung von Jäger bzw. Jäger-Breitner-Klassifikation werden die *lateralen* Claviculafrakturen in 4 Typen eingeteilt (Tab. 3-08 und Abb. 3-13). Jäger hatte dabei zum Ziel, die Komplikationsrate und die Pseudarthrosenentstehung der Clavicula zu verringern, indem er eine therapiebezogene Einteilung der lateralen Claviculafrakturen unter besonderer Berücksichtigung ligamentärer Begleitverletzungen erstellte. Grundsätzlich sieht er insbesondere bei den Typen 2a und 2b eine relative bzw. absolute Operationsindikation, während Typen 1 bzw. 3 auch konservativ behandelt werden können (Jäger 1984):

Tab. 3-08: Einteilung der lateralen Claviculafrakturen nach Jäger/Breitner (Jäger 1984)

Typ 1	Fraktur lateral des Lig. coracoclaviculare
Typ 2	Fraktur im Bereich des Lig. coracoclaviculare a) mit Ablösung der Pars conoidea vom medialen Fragment b) mit Ablösung der Pars trapezoidea vom lateralen Fragment bei bandstabiler Fixation des medialen Fragments
Typ 3	Fraktur medial des Lig. coracoclaviculare
Typ 4	kindliche Pseudoluxation der Clavicula aus dem Periostschlauch

Abb. 3-13: Einteilung der lateralen Claviculafrakturen nach Jäger/Breitner (Jäger 1984)



3.5. Therapie der Claviculafraktur

Die prinzipiellen Strategien der Therapie der Claviculafraktur gelten der anatomischen Reposition sowie einer möglichst übungstabilen Retention und Fixierung der Fraktur. Dabei gelingt die Reposition einer gebrochenen Clavicula meistens relativ leicht, anspruchsvoller ist die Ruhigstellung, wofür die anatomischen Gegebenheiten keineswegs günstig sind. Wie schwierig es ist, die reponierten Fragmente in der gewünschten Stellung zu halten, wird durch die große Zahl von Behandlungsvorschlägen unterstrichen (Thurnheer 1969). Es sind somit zahlreiche *konservative* und *chirurgische* Therapieformen beschrieben und im Einsatz.

3.5.1. Konservative Therapie der Claviculafraktur

Über 90% der Schlüsselbeinbrüche werden *konservativ* behandelt, und überwiegend tritt knöcherne Ausheilung in befriedigender Stellung und mit genügender Funktion ein (Powell 1952, Neer 1960, Judet 1964, Baciú 1966, Rowe 1968, Probst 1970, Trillat 1970, Kuner 1979, Zenni 1981, Andersen 1987, Lindenmaier 1991). Im allgemeinen ist die Vaskularisierung der Frakturstelle so hoch, dass üblicherweise eine schnelle Heilung der Claviculafraktur erwartet werden kann (Wu 1998). Die konservative Behandlungsoption der Claviculafrakturen ist unbestritten. Nach größeren Statistiken erreicht man damit bei über 90-95% der Patienten knöcherne Heilung und Arbeitsfähigkeit nach 3-5 Wochen (Steffelaar 1974, Klönz 2002).

Zur konservativen Therapie der Claviculafraktur steht eine Vielzahl von Behandlungsformen zur Verfügung, wobei Schuppler bereits im Jahr 1935 über 160 und Stoye im Jahr 1964 gar über 360 Methoden (!) zusammengestellt hat (Schuppler 1935-1, Nicoll 1954, Stoye 1964, Walcher 1973-2, Rabenseifner 1981). Die häufigsten nicht-operativen Techniken mit dem Ziel der Ruhigstellung der Fraktur sind die Therapie mit einer Armschlinge, die Verwendung eines sogenannten Rucksackverbandes oder das Anlegen eines Desault-, Gilchrist- oder

Velpeau-Verbandes (Quigley 1950, Nevasier 1963, Rowe 1968, Stanley 1988-1, Middleton 1995, Robinson 1998, Kitsis 2003).

Eine konservative Therapie ist in den meisten Fällen der Claviculafrakturen bei geringgradig dislozierten Frakturen möglich. Mitunter sind auch stark dislozierte Schlüsselbeinbrüche mit funktionell gutem Ergebnis konservativ behandelbar (Klonz 2002). Man hat festgestellt, dass das Behandlungsergebnis nahezu unabhängig von der Verbandsanordnung ist und dass die meisten Frakturen nach primärer Reposition doch in der ursprünglichen Stellung konsolidieren (Klonz 2002). Der Zweck des Verbands besteht vor allem in der Ruhigstellung und der damit verbundenen Schmerzlinderung.

Der häufig verwendete klassische *Rucksackverband* (Abb. 2-01) ist eine Therapieform, die schon vor ca. 5000 Jahren in Ägypten auf einer Papyrusrolle erwähnt und u.a. durch Brännighausen bereits 1790 näher beschrieben wurde (Connolly 1989). Er ist - außer bei lateralen Frakturen - zu bevorzugen, da er die Schultergelenksbeweglichkeit nicht wesentlich beeinträchtigt und die Hand gebrauchsfähig hält (Schewior 1974). Der Rucksackverband oder alternativ die *Claviculabandage* (Tab. 3-10) aus gepolstertem, nicht dehnbarem Material und einem dorsalen Klettverschluss gleicht die Winkelstellung der Schlüsselbeinfragmente und die Verkürzung wenigstens teilweise aus und hat einen schmerzlindernden Effekt. Es erfolgt ein Zug auf die Schulter nach lateral und dorsal, der in der initialen Therapiephase regelmäßig (ca. alle 2 Tage) angepasst werden muss. Um Versteifungen im Schultergelenk zu vermeiden, soll je nach Beschwerden eine selbständige, aktive Schultermobilisation vom Patienten durchgeführt werden. Die richtige Position des Rucksackverbandes beschreibt auch Bar (Bar 1992). Die Dauer der Immobilisation mit dem Rucksackverband beträgt in der Regel ca. 5-6 Wochen.

Bei der *Armschlinge* (Abb. 2-04), auch als *Mitella triangularis*, *Armtragetuch*, *Tragbinde* oder *Scherpe* bezeichnet, wird ein Dreieckstuch im Nacken befestigt und um den Arm geschlungen, um den Arm zu lagern. Bei längerer Anwendung besteht die Gefahr der raschen Einsteifung des Schultergelenks durch mangelnde Bewegung, weswegen nach Oscar Vulpius die Armschlinge diskriminierend auch als *„Leichentuch der Schulter“* bezeichnet wird (Torklus 1995).

In einer prospektiven Studie von Petravic wird der tatsächliche Nutzen von konservativen Techniken wie Rucksack- oder Desault-Verband stark in Frage gestellt. In einem Modellversuch an 10 Patienten mit isolierter Claviculafraktur in Schaftmitte hatte er die zunehmenden ‚Spannungswerte‘ beim Anlegen des Rucksackverbandes mittels Federwaage bestimmt und diese in Relation zu den subjektiven Beschwerden, einem Stauungseffekt in den oberen Extremitäten, dem ungenügenden Repositionsergebnis sowie einer unzureichenden Minderung der Claviculaverkürzung gestellt. Seine vergleichenden Ergebnisse haben ihn veranlasst, auf das Anlegen eines Rucksackverbandes zu verzichten und stattdessen bei Nachlassen der posttraumatischen Schmerzen mit einer verbandlosen Behandlung zu beginnen (Petravic 1983).

Wichtige konservative Therapie-Verfahren der Claviculafrakturen listet Tab. 3-10 auf:

Tab. 3-10: Konservative Therapieformen bei Claviculafrakturen (Torklus 1995)

Therapieverfahren	Beschreibung
Atlanta-Claviculabandage	Industriegerfertigte Bandage im Sinne eines Rucksackverbandes, die mit Klettverschlüssen verstellbar ist.
<u>Desault-Verband</u>	Verband zur Ruhigstellung des Schultergelenks und Oberarms mit elastischen Binden oder Körperschlauchverband; bei Ellenbogenfixation in 90° werden mittels einer elastischen Binde durch 3 zirkuläre und mehrerer Touren unter der Achsel hindurch, Schulter und Ellenbogen fest am Rumpf fixiert; wegen Gefahr der Schultergelenkversteifung (Schultersteife, frozen shoulder) v.a. bei älteren Patienten Anwendung max. 3 Wochen (Abb. 2-03)
<u>Gilchrist-Verband</u>	Schulter-Arm-Verband zur Ruhigstellung bei Verletzungen im Bereich des Schultergürtels und bei Humerusschaffraktur; ein Stück Schlauchmull (3-4x Armlänge) wird nach 2/3 eingeschnitten und dieser dann um den Rücken geführt und am anderen Ende am betroffenen Oberarm fixiert; erlaubt limitierte Bewegungen unter Ausschaltung der Schwerkraft des Arms (Abb. 2-02)
McLeod-Bandage	Industriegerfertigter Rucksackverband zur Anwendung bei Claviculafrakturen
<u>Rucksackverband</u>	Über beide Schultern und durch beide Achselhöhlen geführte, sich auf dem Rücken kreuzende Achtertour, z.B. aus gepolstertem Trikotschlauch, posterior unterlegt mit einem Kissen; der mit Watte gefüllte Schlauchmull, dessen Mitte in den Nacken gelegt wird, wird mit den beiden Enden unter den Achseln durchgeführt und hinten auf dem Rücken verknotet. Mit den Enden des Schlauchverbandes wird der Steg im Nacken umschlungen und unter Spannung verknotet. Dadurch werden die Schultern nach hinten gebracht und die Bruchenden bei Claviculafraktur aufeinander eingestellt. (Abb. 2-01)
<u>Velpeau-Verband</u>	Binden- oder Schlauchverband zur Ruhigstellung des Schulter-Arm-Bereichs; max. 3 Wochen anzuwenden. (Abb. 2-05)

3.5.2. Operative Therapie der Claviculafraktur

Während unkomplizierte Claviculafrakturen nahezu ausschließlich konservativ mit einem guten bis sehr guten Ergebnis zur Ausheilung gebracht werden können, ist bei speziellen Verletzungsmustern (Tab. 3-11) eine operative Versorgung angezeigt (Herbsthofer 1994). In diesem Sinne verwendete Lambotte bereits 1891 für die Behandlung von Schlüsselbeinbrüchen Metallplatten, wobei er ab 1907 auch als erster den Begriff der *Osteosynthese* prägte. Auch Davis berichtet 1929 bereits über eine größere Serie erfolgreicher Plattenosteosynthesen zur Versorgung von Stück- und Splitterfrakturen der Clavicula (Davis 1929, Lindenmaier 1991, Herbsthofer 1994).

Seit Beschreibung der ersten offenen Clavicularepositionen wird die Indikationsstellung der Claviculaosteosynthese wiederholt kontrovers diskutiert. Für die Indikation zur Operation werden in der Regel strenge Maßstäbe angelegt. Mehrheitlich sind es Komplikationen, welche ein operatives Vorgehen verlangen. Während Köck vor etwa 10 Jahren noch eine in den ‚letzten Jahren‘ zunehmende äußerst restriktive Haltung gegenüber der Osteosynthese der Clavicula bei Claviculafrakturen bei den Unfallchirurgen zu erkennen glaubt, berichtet Brinker aktuell über eine Bewegung in Richtung vermehrter operativer Stabilisierung von akuten dislozierten Claviculafrakturen des mittleren Drittels (Köck 1996, Brinker 2005).

Die *operative* Versorgung einer Claviculafraktur ist in der Regel bei nachfolgenden absoluten bzw. relativen Indikationen erforderlich (Steffelaar 1974, Günther 1980, Zenni 1981, Lim 1987, Nevasier 1987, Hofmann 1988, Barbier 1997, Wu 1998).

Tab. 3-11: Indikationen zur primären Osteosynthese bei Claviculafrakturen (nach Hofmann 1988)

Absolute Indikationen:

- offene Fraktur 2. und 3. Grades
- Verletzungen der A./ V. subclavia
- Luxationsfrakturen im AC-/SC-Gelenk mit relevanter Dislokation
- extreme irreponible Dislokation, besonders initiale Verkürzungen > 1,5 cm
- Repositionshindernis durch Weichteilinterponat v.a. durch eingeschobene Deltoideus- und Trapeziusanteile
- laterale Fraktur mit Fragmentdislokation
- pathologische Fraktur (Primärtumor, Metastase)
- Instabilität und Redislokation

Relative Indikationen:

- polytraumatisierter Patient, multiple Verletzungen oder Koma
- drohende Hautdurchspießungen
- Claviculafrakturen im lateralen Drittel
- Nervenbegleitverletzungen
- Trümmerfraktur
- Verletzung der Pleurakuppe
- dislozierte doppelseitige Frakturen
- Kombinationsverletzung von Clavicula und Scapulahals (Floating shoulder)
- Refraktur
- Beschwerden nach konservativer Therapie
- gestörte Kosmetik bei Frauen
- Kompressionssyndrom nach konservativer Therapie
- Wunsch des Patienten

Die *sekundäre* Osteosynthese einer Claviculafraktur schließt sich an einen gescheiterten konservativen Behandlungsversuch an. Absolute und relative Indikationen gibt Tab. 3-12:

Tab. 3-12: Indikationen zur sekundären Osteosynthese bei Claviculafrakturen (nach Hofmann 1988)

Absolute Indikationen:

- schmerzhafte Pseudarthrose
- TOS-Syndrom durch überschießende Callusbildung

Relative Indikationen:

- starke Fehlstellungen
- Stufenbildungen
- kosmetische Störungen
- Instabilität nach Infektion

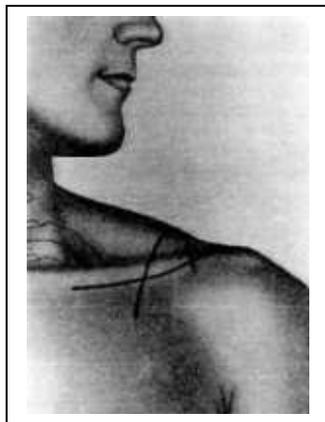
Die primäre operative Stabilisierung einfacher Claviculafrakturen wird auch dann als Alternative zur konservativen Therapie diskutiert, wenn Patienten infolge der Verkürzung des Schlüsselbeins Beschwerden entwickeln können (Klonz 2002). Hinsichtlich der Auswahl der geeigneten Therapie ist die Beurteilung der Frakturstabilität von besonderer

Bedeutung. Liegt bei lateraler Fraktur eine primäre Dislokation um mehr als die halbe Schaftbreite vor, ist von einer assoziierten Verletzung der coracoclaviculären Bänder und Instabilität der Fraktur auszugehen (Klonz 2002).

Als eine der in der Literatur nur selten beschriebenen *Kontraindikationen* zur operativen Versorgung nennt Scholze die Trümmerfraktur der Clavicula, da die hierbei freigelegten kleinen Fragmente zur Nekrose neigen und dadurch bei der Plattenosteosynthese selbst lange Platten gelockert werden können (Scholze 1973).

Der *operative Eingriff* erfolgt meist unter Allgemeinnarkose über einen paraclaviculären Schnitt parallel zur Clavicula oder besser parallel zu den Langer-Linien durch einen Säbelhiebschnitt (Abb. 3-14) und anschließender Freilegung und Reposition der Fraktur sowie der Versorgung eventuell verletzter Gefäße (Kuner 1982, Hofmann 1988).

Abb. 3-14: Operative Zugänge: paraclaviculärer Schnitt und Säbelhiebschnitt (Hofmann 1988)



Operationstechnisch können die Claviculafrakturen durch verschiedene Verfahren versorgt werden. Hierbei handelt es sich meist um offene oder geschlossene Repositionen mit interner Fixation durch Platten, Schrauben oder Nägel (Müller 1970) oder offener oder geschlossener Reposition mit externer Fixierung (Schuind 1988).

Nach den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) sind die zweckmäßigsten Implantate zur Osteosynthese der *diaphysären* Claviculafrakturen die 3,5-mm-DC-Platte (Abb. 2-07) bzw. die 3,5-mm-LCDC-Platte (Abbn. 2-12, 2-13) und die 3,5-mm-Rekonstruktionsplatte (Aggarwal 2005, Abb. 2-17), die mindestens 6-7 Löcher lang sein sollten. Je nach Frakturverlauf wird die Platte auf der Oberseite oder entlang der ventralen Fläche des Knochens angepasst, wobei die Rekonstruktionsplatte (Abbn. 2-17, 2-18, 2-23) für die erstgenannte Lage besonders geeignet erscheint. Bei mehr ventraler Plattenlage können längere Schrauben verwendet werden, und die Platte liegt wegen des dickeren Weichteilmantels an dieser Stelle nicht direkt unter der Haut und ist dadurch weniger störend. Aber auch andere Implantate wie z.B. die vorgeformte Halbrohrplatte als sog. Ulrich- bzw. Meves-Platte (Abb. 2-27) oder aktuell elastische Titannägel (TEN, ESIN, Abb. 2-33) kommen zum Einsatz (Meves 1973, Fuchs 2002, Jubel 2002).

Für die Versorgung *lateraler* (distaler, acromialer) Claviculafrakturen existieren mehrere operative Methoden, von denen die zuverlässigste immer noch *nicht* etabliert ist (Fann 2004). Derartige Schlüsselbeinbrüche können z.B. mittels Zuggurtungsosteosynthese, einer an Spickdrähten und/oder Schrauben meist in Form einer Achterschlinge angebrachten

Drahtschlinge (Abb. 2-54) über das AC-Gelenk hinweg stabilisiert werden oder mittels einer Kleinfragment-T-Platte bzw. Balsler-Hakenplatte (Abb. 2-55) versorgt werden. Eine weitere Alternative für laterale Claviculafrakturen ist die Technik nach Bosworth mit einer Schraube durch die Platte ins Coracoid (Bosworth 1941, Ballmer 1991, Müller 1992, Orozco 2000, Rüedi 2003).

Operationsmethoden unter Berücksichtigung des Fraktur-Typs bei lateralen Claviculafrakturen differenziert Krüger-Franke (Krüger-Franke 2000). Dislozierte Claviculafrakturen des lateralen Abschnitts Typ Neer II können auch mit sehr guten Ergebnissen durch einen transacromialen Knowles-Pin (Abbn. 2-28, 2-29) versorgt werden (Fann 2004).

Auf die einzelnen Techniken der Claviculaosteosynthese bei Claviculafraktur wird hier nicht im Detail eingegangen, weil sie den Verfahren der Versorgung der Claviculapseudarthrose sehr ähnlich sind und dort dargestellt werden.

3.6. Komplikationen bei Claviculafrakturen

Allgemein

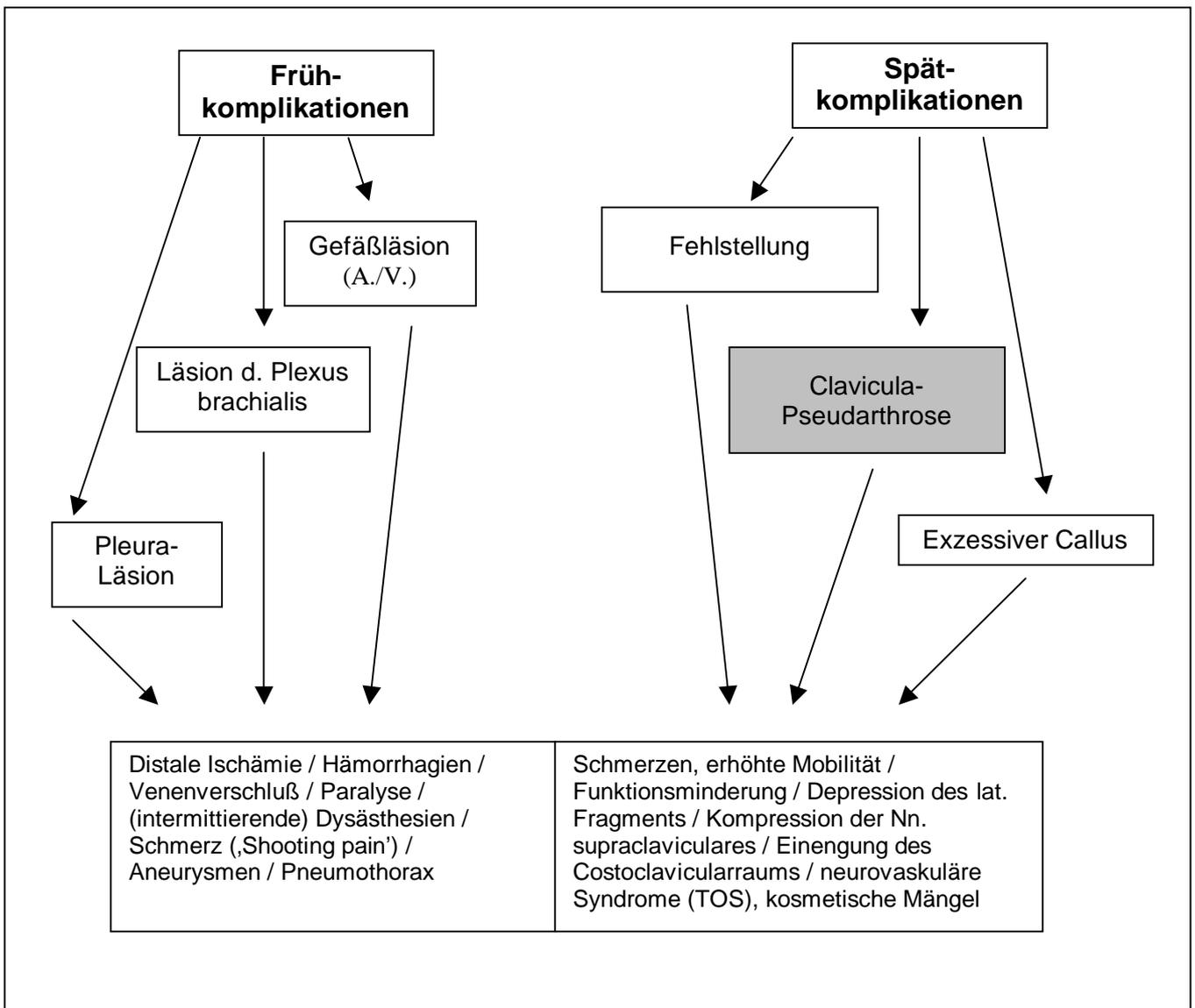
Bereits Verbrugge konstatiert 1934, dass es ein Fehler ist, Claviculafrakturen als harmlos zu betrachten, da ihre Komplikationen zahlreich sein können und auch erst verspätet auftreten können (Verbrugge 1934, Berkheiser 1937, Storen 1946), was besonders für die Kompression des Plexus brachialis in Splitterbrüchen gilt. Röding erklärt, dass die allgemein vertretende Auffassung von der guten Heilungstendenz der Claviculafrakturen nach seiner Auffassung keine absolute Gültigkeit hat und nur allzu leicht zu einer Bagatellisierung dieser Verletzung oder zu einer gewissen Sorglosigkeit in der Behandlung führen kann (Röding 1962). Rowe weist daraufhin, dass die Claviculafraktur hinsichtlich der Schmerzen und der verletzungsbedingten Behinderung häufig unterschätzt wird (Rowe 1968). Auch Connolly bzw. Jones bemerken, dass die oftmals als gutartig angesehenen Claviculafrakturen eine beträchtliche Komplikationsrate haben können (Connolly 1989, Jones 2000). Dass trotz guter Heilungschancen bei einer Claviculafraktur nicht alle Behandlungen zum Erfolg führen, bestätigen auch andere Autoren (Wilkins 1983, Manske 1985, Kay 1986, Jupiter 1987, Hill 1997, Kitsis 2003).

Abb. 3-15 zeigt wichtige Komplikationen nach Claviculafraktur im schematischen Überblick.

Bei 15% der Patienten mit einer Claviculafraktur bleiben nach konservativer Behandlung radiologische Fehlstellungen zurück, welche klinisch belanglos sind. Bei 6-7% werden Restbeschwerden und bei ca. 2% eine berufliche Behinderung festgestellt. Unbefriedigende Resultate sind nach Steffelaar immerhin mindestens bei 2-4% der konservativ therapierten Claviculafrakturen festzustellen (Steffelaar 1974).

Aus den Fachpublikationen der letzten Jahre geht jedoch hervor, dass 10-30% der konservativ behandelten Patienten klinisch, radiologisch und subjektiv unbefriedigende Ergebnisse aufweisen (Jubel 2002-2). Dies liegt ursächlich häufig an einer Verkürzung (Hill 1997, Matis 1999), einer schlechten Schulterfunktion (Matis 1999) oder an einer Pseudarthrose der Clavicula (White 1989, Hill 1997).

Abb. 3-15: Wichtige Komplikationen nach Claviculafraktur



In einer aktuellen prospektiven Studie von Nowak ist der Anteil von posttraumatischen Beschwerden bei einem Follow-Up der Claviculafrakturen von ca. 10 Jahren tatsächlich beträchtlich. Von 208 Patienten litten nach dieser Zeit noch 96 (46%) unter den Folgen der Fraktur. Von den symptomatischen Patienten hatten 9% Schmerzen in Ruhe, 29% Schmerzen bei Bewegung des Arms oder der Schulter und 27% kosmetische Defekte durch die Folgen der Fraktur (Nowak 2004).

Besonders nach *schweren* Claviculafrakturen sind Komplikationen wahrscheinlich und bei Erwachsenen deutlich häufiger als bei Kindern (Neer 1960, Sakellarides 1961, Johnson 1963, Penn 1964, Howard 1965, Rowe 1968, Penn 1969, Taylor 1969, Marsh 1970, Hicks 1976, Edvardsen 1977, Pyper 1978, Connolly 1981, Karaharju 1982, Wilkins 1983, Bargar 1984, Manske 1985, Jupiter 1987). Hoch-Energie-Traumen können dabei hartnäckige Symptome verursachen, die in einer Vielzahl von Ursachen wie Läsion des Plexus brachialis, Claviculapseudarthrosen, Heilung in Fehlstellung und/oder einem sekundären Thoracic-outlet-Syndrom (TOS) begründet sein können (Kitsis 2003).

Den Zusammenhang zwischen Hoch-Energie-Traumen (Rasanztraumen) und Spätkomplikationen ist wiederkehrend Gegenstand wissenschaftlicher Studien (Howard 1965, Kitsis 2003). Kitsis beleuchtet diesbezüglich die operative Behandlung der Folgen von Hoch-Energie-Traumen und deren Ergebnis. In seiner Analyse empfiehlt er ein längeres Follow-Up als bisher sowie eine niedrigere Schwelle zur frühzeitigen operativen Intervention. Obwohl durch die operativen Eingriffe die hartnäckigen Symptome verbessert werden können und ein befriedigendes funktionelles Ergebnis zu erreichen ist, behält die Mehrzahl der Patienten mehr oder weniger ausgeprägte Residualsymptome in Form von Ruhe- und Bewegungsschmerz in Schulter und Nacken, Dys- und Hypästhesien in Hand und Fingern, Kraftminderung in Arm und Schulter, Muskelzuckungen im Arm sowie Kälteintoleranz der betroffenen Extremität (Kitsis 2003).

Claviculapseudarthrose

Über diese wichtige posttraumatische Komplikation nach Claviculafraktur wird im Ergebnis- und Diskussions-Teil der Dissertation ausführlich berichtet.

Thoracic-outlet-Syndrom

Das nach Claviculafrakturen nicht selten beobachtete sogenannte Thoracic-outlet-Syndrom (TOS) oder auch Schultergürtelkompressionssyndrom kann als Oberbegriff für verschiedene neurovaskuläre Kompressionszustände im Bereich der oberen Thoraxapertur angesehen werden. Sie führen zu Beeinträchtigungen der aus dem Thorax austretenden Nerven, Venen und/oder Arterien. Je nach Ort der Kompression (hintere Scalenuslücke, Costoclavicularspalt, Coracopectoralraum) treten unterschiedliche Symptome wie Schmerzen, Parästhesien, Muskelatrophien, Ischämiezeichen, Funktionseinschränkungen, periphere Embolien, akute Thrombosen, Ödeme, Cyanosen und Claudicatio-ähnliche Zustände auf. Das TOS kann differenziert werden in das Scalenus-anterior-Syndrom (Halsrippensyndrom, Syndrom der 1. Rippe), das Costoclavicular-Syndrom und das Hyperabduktions-Syndrom.

Im Bereich der Clavicula sind es besonders die Frakturen, Fehlstellungen, Callusbildungen oder Exostosen der Clavicula im medialen und mittleren Drittel, die ursächlich für ein TOS seien können. Nach Untersuchungen von Connolly ist die Claviculapseudarthrose (z.B. via Callusbildung, Fehlstellung) sogar die häufigste Ursache des TOS (Connolly 1986, Connolly 1989).

Plexus brachialis

Über Früh- und Spätkomplikationen nach Claviculafrakturen bzw. Claviculapseudarthrosen, die den Plexus brachialis betreffen und z.B. durch direkte Läsionen, Überdehnung, Deformationen und Heilungen in Fehlstellungen, Narbenkonstriktionen, sekundäre Aneurysmen oder exzessive, hypertrophe Callusbildung hervorgerufen werden, berichten zahlreiche Autoren (Verbrugge 1934, Campbell 1949, Howard 1965, Mital 1968, Miller 1969, Enker 1970, Mohr 1970, Eberle 1973, Poigenfürst 1973, Yates 1976, Löffler 1979, Schmit-Neuerburg 1982, Spier 1982, Echtermeyer 1984, Reichenbacher 1987, Karwasz 1988, Hansky 1989, Jahn 1989, Della Santa 1991, Barbier 1997, Orljanski 1998).

Arteria und Vena subclavia

Ebenso existieren in der Literatur vielfältige Beschreibungen über Läsionen, Zerreißungen, Kompressionen und andere Störungen der Subclavia-Gefäße im Zusammenhang mit Claviculafrakturen oder deren Pseudarthrosen (Falconnor 1943, Watson-Jones 1957, Dash 1960, Gryska 1962, Penn 1964, DeBakey 1965, Howard 1965, Penn 1969, Mohr 1970, Ewald 1972, Fourrier 1976, Yates 1976, Schmitt 1979, Hansky 1993).

Weitere Läsionen

Weitere Begleitverletzungen durch Schädigung von Gefäßen und Nerven durch Bruchstücke des Schlüsselbeins können auch die A. carotis (Howard 1965), die A. supraclavicularis, die V. jugularis interna, den Ductus thoracicus und Pleuraverletzungen (Aycock 1971, Iqbal 1971, Poigenfürst 1973, Löffler 1979) betreffen. Klönz gibt die Häufigkeit eines assoziierten Hämato- oder Pneumothorax mit 3% an (Klönz 2002). Begleitverletzungen können auch als Kombinationen mit Scapulahals- und Rippenfrakturen beim Polytrauma betreffen (Siewert 1998).

Operative Therapie

Über eine Komplikationsrate von 10% bzw. 24% bei der Versorgung frischer Claviculafrakturen mit der Plattenosteosynthese berichten Poigenfürst bzw. Böstman, wobei in letzterer eine Infektionsrate von 7,5% enthalten ist (Poigenfürst 1991, Böstman 1997).

Refrakturen

Refrakturen nach verheiltem Schlüsselbeinbruch können sowohl frühzeitig als auch Jahre nach der Verletzung auftreten. Bei mäßiger Dislokation ist es gerechtfertigt, zunächst eine erneute konservative Therapie einzuleiten. Sollte nach 6 Wochen eine Heilung ausbleiben, ist dem Patienten ein frühsekundär operatives Vorgehen zu empfehlen (Klönz 2002).

Kosmetik

Aggarwal betont aktuell in seinem Leserbrief auf die Ausführungen von Kitsis, dass neben den orthopädischen und neurologischen Komplikationen auch die postoperativen kosmetischen Folgen häufig und wichtig sind. Besonders bei Heilung der Claviculafraktur in Fehlstellung präsentieren sich die Patienten mitunter mit einer ‚droopy‘, ‚driven in‘ oder ‚ptotic‘ shoulder. Besonders Frauen beklagen mitunter in diesem Zusammenhang das Herabrutschen von Trägern und Haltern von Kleidungsstücken von der betroffenen Schulter (Kitsis 2003, Aggarwal 2005). Das Auftreten von mitunter erheblichen kosmetischen Defiziten kann aber auch nach konservativer Therapie beobachtet werden (Pieske 2005).

3.7. Pseudarthrosen allgemein

Den Grundlagen-Teil abschließend wird an dieser Stelle der Begriff der Pseudarthrose eines Knochens allgemein erläutert. Im Ergebnis-Teil wird dann detailliert auf die Pseudarthrose der Clavicula eingegangen.

Bedeutung

Die Pseudarthrose des Knochens ist neben der Infektion mit ihren Folgen eine der schwersten Komplikationen der Knochenbruchheilung (Broichmann 1965). Im berufsgenossenschaftlichen Heilverfahren haben Pseudarthrosen und ihre Therapien weiterhin eine große Bedeutung, da Heilungsstörungen nach Unfällen den Aufwand, die Zeitdauer und die Kosten der Rehabilitation negativ beeinflussen. Tatsächlich stellen Pseudarthrosen noch immer einen erheblichen Anteil an Patienten berufsgenossenschaftlicher Unfallkliniken dar (Kortmann 2004).

Definition

Nach allgemeingültiger aktueller Definition wird als Pseudarthrose eine sogenannte Falschgelenkbildung verstanden, bei der nach einer Fraktur die knöcherne Überbrückung nach mehr als 6 Monaten noch nicht erfolgt ist bzw. die Fraktur noch immer nicht fest ist (Kortmann 2004, Pschyrembel 2004). Diese Situation der fehlenden Knochenheilung wird in der englischsprachigen Literatur als ‚non-union‘ bezeichnet. Benötigt ein Knochenbruch

länger als 3 Monate spricht man von einer verzögerten Frakturheilung (*,delayed union'*).

Der englische Begriff *,pseudarthrosis'* wird im engeren Sinne für angeborene Knochen-defekte benutzt. Viele Autoren halten sich jedoch nicht an diese Definition und bezeichnen nicht erfolgte Bruchheilungen sowohl mit *,pseudarthrosis'* als auch mit *,non-union'*.

Trotz der definitionsgemäßen Zeitspannen für Pseudarthrosen von 4-6 Monaten nach Fraktur, handelt es sich bei der Pseudarthrose oft um keinen abgeschlossenen Prozess. Pauwels und Denis konnten zeigen, dass die vormals für wertlos gehaltene Pseudarthrose durchaus eine biologische Potenz zur knöchernen Ausheilung besitzt. Auch röntgenologisch als atrophisch eingestufte Pseudarthrosen zeigen eine szintigraphisch darstellbare biologische Aktivität. Bei vorhandener Heilungspotenz fehlen oft nur die rein mechanischen Voraussetzungen für eine knöcherne Heilung (Weber 1973, Leitl 1987).

Nicht in jedem Fall führt jedoch die ausbleibende Heilung tatsächlich zu einem derartigen Falschgelenk mit enthaltener Synovialflüssigkeit. Im Normalfall liegt bei der fehlenden knöchernen Überbrückung ein *,Gelenkspalt'* vor, dessen formende Frakturende atrophisch oder hypertrophisch durch exzessive Callusbildung verändert sind.

Die meisten Pseudarthrosen sind mehr als nur nicht geheilte Knochenfrakturen. Oft sind sie begleitet von Verkürzung, Angulation, angrenzender Gelenkversteifung, Muskelatrophie, neurologische bzw. vaskuläre Störungen oder insbesondere Infektionen (Weber 1981).

Differenzierung

Pseudarthrosen vor allem bilateraler Knochen lassen sich noch weiter differenzieren (Tab. 3-13), was auch bei den Claviculapseudarthrosen von Bedeutung ist:

Tab. 3-13: Differenzierungsmöglichkeiten von Pseudarthrosen

- Körperseite: rechts/links/beidseitig
- Lokalisation: z.B. proximal/distal od. mediales/mittleres/laterales Drittel (z.B. Clavicula)
- Symptomatik: symptomatisch/asymptomatisch
- Trophik: atroph/oligotroph/hypertroph
- Schlaffe/straffe Pseudarthrosen
- Defektpseudarthrosen/septische Pseudarthrosen
- Vaskularisation: hypervaskuläre/avaskuläre Pseudarthrosen

Altershäufigkeit

Pseudarthrosen treten am häufigsten im Lebensbereich zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr auf, nehmen dann gleichmäßig ab bis zum Alter von etwa 50 Jahren, um dann wieder zwischen dem 5. und 6. Lebensjahrzehnt anzusteigen. Der Häufigkeitsgipfel wird bei Männern als Folge des höchsten körperlichen Leistungsniveaus zwischen 20 und 40 Jahren und seiner hohen Unfallwahrscheinlichkeit interpretiert, wohingegen bei Frauen die Pseudarthrose in allen Lebensaltern gleichermaßen häufig auftritt (Friedrich 1973).

Ursachen

Als allgemeine Ursachen für die Pseudarthrosenbildung gelten mechanische Faktoren (z.B. verschiedene Spannungsformen wie Biegung, Knickung, Torsion, Zug- und Druckspannung, Dislokation bzw. Distraktion der Fragmente), Interposition von Weichteilen in den Frakturspalt, mangelnde Ruhigstellung mit mechanischer Unruhe am Frakturspalt, Infektionen mit Resorptionsvorgängen statt regenerativen Prozessen, Hypoxie bei Durchblutungsstörungen durch Gewebstraumatisierungen, verzögerte Callusbildung und Gewebeverlust. Nach Geiser ist die Entstehung von Pseudarthrosen in einer ‚*momentanen Erschöpfung der osteogenen Regenerationspotenz des Periosts*‘ zu sehen. Dies kann bedingt sein durch Traumatisierung bei einem Unfall, während einer sich anschließenden Operation oder durch zu frühes Belasten des heilenden Knochens. Dabei werden die Regenerationsbemühungen des Gewebes immer wieder gestört (Geiser 1963, Friedrich 1973).

Neben den Frakturcharakteristiken werden als Pseudarthrosen (mit)verursachende Faktoren noch genannt: Lebensalter, Hormonstatus, Ernährung, Tabakrauchen, Drogen und Alkohol (Nolte 2001).

Symptome

Die führenden Symptome bei Pseudarthrosen sind häufig eine abnorme Beweglichkeit bzw. Fehlstellung und ein belastungsabhängiger Schmerz.

Therapie

Der ‚Gold-Standard‘ in der Therapie der Pseudarthrosen ist heutzutage nach wie vor die Operation (Kortmann 2004). Ihre Behandlung beruht nach Weber auf vier verschiedenen Konzepten (Weber 1981):

Tab. 3-14: Basiskonzepte bei der Therapie von Pseudarthrosen (Weber 1981)

- Die Enden der Knochenfragmente haben keine osteogene Kraft mehr. Um die Pseudarthrose zu heilen, ist die Resektion unnützen Gewebes erforderlich (Cooper 1842, Witt 1952).
- Die Enden der Knochenfragmente haben nur noch eine begrenzte Heilungskraft. Um die Pseudarthrose zu heilen, muss die osteogene Kapazität durch eine Knochenplastik erhöht werden (Phemister 1947).
- Die Enden der Knochenfragmente haben nur noch eine begrenzte Heilungskraft. Um die Pseudarthrose zu heilen, wird die osteogene Kapazität durch Elektrizität stimuliert (Bassett 1974, Brighton 1975).
- Die Enden der Knochenfragmente haben eine gute Heilungskapazität, ihre Vereinigung wird jedoch durch mangelnde Immobilisierung aufgrund fehlerhafter geschlossener oder operativer Fixierung verhindert. Um die Pseudarthrose zu heilen, müssen die Fragmente durch starre Fixation in permanenten Kontakt zusammengebracht werden (Pauwels 1935, Pauwels 1940).

Die prinzipiellen Therapieoptionen umfassen bei einer hypertrophen Pseudarthrose - entsprechend einer suffizienten Vaskularisation - die Beseitigung der mechanischen Störung und die stabile Osteosynthese mit interfragmentärer Kompression. Bei atrophischen Pseudarthrosen - entsprechend einer insuffizienten Vaskularisation - werden die Knochenenden angefrischt und nach Knochentransplantation eine stabile Osteosynthese durchgeführt. Handelt es sich um eine infizierte Pseudarthrose kommen weitere Verfahren (z.B. Fixateur externe) zum Einsatz (Weber 1981):

Tab. 3-15: Therapie von Pseudarthrosen (Weber 1981)

Pseudarthrosen	nichtinfiziert (aseptisch)	infiziert (septisch)
mit guter Blutversorgung (hypertroph)	direkte fokale starre Fixation (z.B. Schrauben, Platten, Zuggurtung, intramedullärer Nagel)	indirekte extrafokale Fixation (z.B. Fixateur externe), autologe Knochenspongiosaplastik
mit schlechter Blutversorgung (atroph, Defekt)	direkte fokale starre Fixation, autologe Knochenspongiosaplastik	indirekte extrafokale Fixation (z.B. Fixateur externe), Debridement, Sequesterektomie, autologe Knochenspongiosaplastik

Auch Eckhardt nennt vier Säulen des Therapieschemas bei Pseudarthrosen und infizierten Defektpseudarthrosen (Eckhardt 1987), wobei er sich auf u.a. auf eigene Erfolge bei der direkten Elektrostimulation mit bipolaren Rechteckimpulsströmen im Behandlungsplan der Pseudarthrosen stützt:

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Infektsanierung • Stabilisierung • autologe Spongiosatransplantation • Elektrostimulation |
|--|

In einigen Fällen kann bei Pseudarthrosen auch eine Resektion durchgeführt werden, die bereits 1760 von White beschrieben wurde (Leitl 1987).

Weitere grundlegende und umfassende Studien zum operativen Vorgehen bei Pseudarthrosen wurden von verschiedenen Autoren vorgelegt (Müller 1970, Weber 1973, Weber 1976, Weber 1981, Kortmann 2004).

4. Ergebnisse aus den Publikationen und Studien zu Claviculapseudarthrosen

4.1. Allgemeines

4.1.1. Definition der Claviculapseudarthrose

Unter der posttraumatischen Claviculapseudarthrose wird nachfolgend die Nichtvereinigung der Frakturende der Clavicula nach einer traumatischen Fraktur der Clavicula verstanden. Die Claviculapseudarthrose wird in der medizinischen Diagnoseverschlüsselung ICD 10 unter M84.11 entsprechend klassifiziert: Nichtvereinigung der Frakturende (Pseudarthrose: Schulterregion (Klavikula, Skapula, Akromioklavikular-, Schulter-, Sternoklavikulargelenk)).

4.1.2. Publikationen und Studien

In Umsetzung der im einführenden Teil genannten Kriterien der Literaturrecherche wurden mehr als 1000 Publikationen gesichtet, von denen 531 als themenrelevant erkannt, ausgewertet und in das Literaturverzeichnis im Anhang aufgenommen wurden. Der zeitliche Rahmen der Dissertation wird durch Veröffentlichungen beginnend mit dem Jahr 1815 bis zum Jahr 2005 abgesteckt (Vogel 1815, Jubel 2005).

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Analysen der Claviculapseudarthrose-Fälle beruhen auf insgesamt 147 Publikationen mit klinischen Studien und Fallberichten (Tab. 4 - 02) auf Basis von insgesamt 1807 Patienten, die eine Claviculapseudarthrose erlitten. 18 Veröffentlichungen enthalten einzelauswertbare Teilstudien, sodass sich die Anzahl aller Studien/Fallberichte inkl. Teilstudien auf 166 beläuft. Der älteste Fallbericht stammt von Mouchet (Mouchet 1929), die aktuellste Studie von Jubel aus dem Jahr 2005 (Jubel 2005). Darüber hinaus sind zahlreiche weitere Berichte über mehr als insgesamt 568 traumatische Claviculapseudarthrosen publiziert, die jedoch aufgrund der Publikationssprache, fehlender weiterer Angaben in der Publikation, Nichtzugänglichkeit der Originalliteratur oder Vermischung der Ergebnisse mit nicht-posttraumatischen Claviculapseudarthrosen nicht weiter ausgewertet werden konnten (Tab. 4-03).

Studien-Typen

Die Charakterisierung der 147 Studien und Fallberichte ergab folgende Studien-Typen (Tab. 4-01):

Tab. 4-01: Arten der Studien und Fallberichte

Studien-Art	Anzahl	Autoren
Fallberichte	48	
retrospektive Studien	93	
prospektive klinische Studien	6	Karaharju 1982, Hirschmann 1992, Bradbury 1996, Nowak 2001, Kabak 2004, Jubel 2005
gesamt	147	
darunter Doppel- bzw. Dreifachstudien (=Teilstudien)	19	
gesamt inkl. Teilstudien	166	
davon statistisch unterlegt	10	Olsen 1995, Hill 1997, Wu 1998, Nowak 2001, Sadiq 2001, Chu 2002, Kabak 2004, O'Connor 2004, Si 2004, Jubel 2005
davon therapievergleichend	6	Bradbury 1996, Wu 1998, Nowak 2001, Sadiq 2001, Kabak 2004, Si 2004

Tab. 4-02: Übersicht der Studien und Fallberichte zu Claviculapseudarthrosen (1-5)

Nr.	Autor	Land	Jahr	Sprache	Studienart 2)	Pat.zahl ges.	mittl. Pat.alter (J)	Frakturursache bekannt (x/n)	Primärtherapie bekannt (x/n)	mittl. Dauer Trauma bis CP-Therapie (Mo)	Anzahl CP-operierter Pat.	Therapie d. Pseudarthrose 3)	postoper. Immob. (x/n/na)	mittl. Follow-Up (Mo)	Knochenheilungsrate (%)	intra-/postoperative Komplikationen (Anzahl Pat.)	postoperative Beschwerden (Anzahl Pat.)	mittl. Dauer bis ME (Mo)
1	Fuchs B	USA	2005	E	F	1	32	n	x	19	1	P	x	24	100	0	0	na
2	Jubel A	D	2005	D	pS	14	42	x	x	9	14	I	n	na	92,9	2	4	12
3	Erdmann D	USA	2004	E	F	2	47	x	x	na	2	P	x	na	100	0	0	na
4a	Evans RO	UK	2004	E	F	2	27	x	x	8	2	P	x	12	0	2	1	na
4b	Evans RO	UK	2004	E	F	2	na	n	n	25,5	2	P	x	12	100	0	0	12
5	Helwig P	D	2004	D	rS	25	na	(x)	x	na	25	P	na	16	92,0	na	na	na
6a	Kabak S	TUR	2004	E	pS	17	44	x	x	11,4	17	P	x	44,2	100	2	3	na
6b	Kabak S	TUR	2004	E	pS	16	39	x	x	10,2	16	P	x	44,2	87,5	0	2	na
7	Kloen P	HOL	2004	E	F	1	30	x	x	24	1	P	x	12	100	0	0	na
8	O' Connor D	IRE	2004	E	rS	23	38	x	n	10,3	24	P	x	42,1	91,7	2	6	na
9a	Petrovic I	CRO	2004	E	rS	1	21	x	x	18	1	P	na	7	100	0	0	na
9b	Petrovic I	CRO	2004	E	rS	11	36	x	x	16,7	11	D	na	66,5	90,9	5	7	11
10	Proubasta IR	ESP	2004	E	F	5	33	x	x	14,8	5	I	x	13	100	0	0	n
11a	Si QQ	CHI	2004	C	rS	9	na	n	n	na	9	P	na	11	100	na	2	na
11b	Si QQ	CHI	2004	C	rS	10	na	n	n	na	10	I	na	na	90,0	na	na	na
12	Hoe-Hansen CE	SWE	2003	E	rS	6	41	x	x	24	6	I	x	21	100	2	3	na
13	Marti RK	HOL	2003	E	rS	28	35	x	x	48	28	P	n	120	96,4	8	4	21
14	Chu CM	CHI	2002	E	F	2	49	n	n	7	2	I	x	48,5	100	0	2	na
15a	Der Tavitian J	UK	2002	E	rS	11	41	x	n	na	11	D	na	38,6	100	1	6	na
15b	Der Tavitian J	UK	2002	E	rS	8	32	x	n	na	8	D	na	29,3	100	3	5	na
15c	Der Tavitian J	UK	2002	E	rS	1	58	x	n	na	1	A	na	32	100	na	1	na
16	Fuchs M	D	2002	D	F	1	36	x	x	3	1	P	n	na	100	0	0	na
17	Kloen P	USA	2002	E	rS	12	44	x	x	11	12	P	x	37	100	1	2	n
18	Mullett H	IRE	2001	E	F	1	51	x	x	12	1	P	na	24	100	0	1	na
19a	Nowak J	SWE	2001	E	pS	13	34	n	x	22	13	P	(x)	64,8	100	1	7	na
19b	Nowak J	SWE	2001	E	pS	11	37	n	x	26	11	F	(x)	103	72,7	3	5	na
20	Sadiq S	UK	2001	E	rS	20	39	x	x	20	20	P	x	3,9	100	0	3	na
21	Wick M	D	2001	E	rS	39	40	x	x	10	39	D	x	26	97,4	1	5	12
22	Jones GL	USA	2000	E	rS	14	na	n	x	20	14	P	x	33	92,9	1	0	na
23	Momberger NG	USA	2000	E	F	3	32	n	x	24	3	P	na	34	100	3	1	16
24	Parry DJ	UK	2000	E	F	1	68	x	x	na	na	na	na	na	na	na	na	na
25	Webber M	UK	2000	E	rS	4	na	n	n	4,8	4	D	x	na	100	1	1	na
26	Edwards A	UK	1999	E	F	3	23	n	x	8,3	3	P	na	15,3	100	1	1	12
27	Enneking TJ	HOL	1999	E	rS	14	38	(x)	x	20	14	I	x	40	92,9	1	11	na
28	Laursen MB	DEN	1999	E	rS	16	35	x	x	19	16	P	x	54	100	2	4	15

Tab. 4-02: Übersicht der Studien und Fallberichte zu Claviculapseudarthrosen (2-5)

Nr.	Autor	Land	Jahr	Sprache	Studienart 2)	Pat.zahl ges.	mittl. Pat.alter (J)	Frakturursache bekannt (x/n)	Primärtherapie bekannt (x/n)	mittl. Dauer Trauma bis CP-Therapie (Mo)	Anzahl CP-operierter Pat.	Therapie d. Pseudarthrose 3)	postoper. Immob. (x/n/na)	mittl. Follow-Up (Mo)	Knochenheilungsrate (%)	intra-/postoperative Komplikationen (Anzahl Pat.)	postoperative Beschwerden (Anzahl Pat.)	mittl. Dauer bis ME (Mo)
29	Proubasta IR	ESP	1999	E	F	1	26	x	x	6	1	I	x	na	100	0	0	na
30	Wentz S	D	1999	E	rS	22	24	x	x	10	22	P	x	12	100	1	na	9
31	Ballmer FT	CH	1998	E	rS	37	34	(x)	x	12	37	P	x	103	94,6	2	5	18
32	Leupin S	CH	1998	E	rS	8	45	x	x	132	8	P	x	7	100	0	1	12
33	Ngarmukos C	THA	1998	E	rS	11	na	n	n	na	11	I	x	12	100	na	na	9
34	Orljanski W	AUT	1998	D	F	1	37	x	x	11	1	P	x	2	100	0	0	na
35a	Wu CC	CHI	1998	E	rS	13	38	(x)	(x)	13,5	13	P	x	37,2	81,8	3	3	na
35b	Wu CC	CHI	1998	E	rS	20	37	(x)	(x)	13,9	20	I	na	39,6	88,9	2	na	na
36	Boyer MI	CAN	1997	E	rS	7	38	n	x	na	7	P	x	na	100	0	1	na
37a	Ebraheim NA	USA	1997	E	rS	14	35	x	n	28,5	14	P	na	10,8	92,9	3	5	na
37b	Ebraheim NA	USA	1997	E	rS	2	40	x	n	36,5	2	P	na	15	100	0	1	na
38	Hill JM	USA	1997	E	rS	8	na	n	x	na	na	na	na	na	na	na	na	na
39	Ring D	USA	1997	E	rS	2	57	(x)	x	11,4	2	P	na	34	100	0	0	na
40a	Bradbury N	UK	1996	E	pS	17	na	(x)	x	12	17	P	x	72	88,2	2	6	na
40b	Bradbury N	UK	1996	E	pS	15	33	(x)	x	12	15	P	x	72	93,3	3	8	na
41	Davids PH	HOL	1996	E	rS	14	36	x	x	24	14	P	x	60	100	2	0	na
42	Köck F	D	1996	D	rS	6	na	n	x	na	6	D	na	na	83,3	na	1	na
43	Nikiforidis P	GRE	1996	F	rS	11	34	x	x	10	11	P	x	48	100	1	2	12
44	Middleton SB	UK	1995	E	rS	6	na	x	x	24	6	R	na	21	100	1	1	na
45	Olsen BS	DEN	1995	E	rS	16	34	x	x	31,1	16	P	x	24	93,8	1	5	12
46	Capicotto PN	USA	1994	E	rS	13	34	(x)	x	14,1	13	I	x	48	100	7	7	3
47	Mullaji AB	USA	1994	E	rS	6	33	x	x	46	6	P	n	21	100	0	2	n
48	Naidu SH	USA	1994	E	rS	43	39	n	n	23	17	D	na	na	100	na	na	na
49	Pedersen M	DEN	1994	E	rS	12	34	(x)	n	11	12	D	x	41	83,3	5	na	na
50	Seiler JG	USA	1993	E	rS	8	na	n	n	na	8	P	x	na	100	0	0	na
51	Hirschmann S	D	1992	D	pS	2	61	x	x	14	1	P	n	17	100	1	1	17
52	Martell JR	USA	1992	E	F	1	23	x	n	7	1	I	na	na	100	1	0	1,5
53a	Boehme D	USA	1991	E	rS	21	37	n	x	19,6	21	I	x	35	95,2	1	7	na
53b	Boehme D	USA	1991	E	rS	29	na	n	n	na	34	D	na	na	na	na	na	na
54	Heim U	CH	1991	D	F	1	28	x	x	23	1	P	na	36	100	0	0	12
55	Marti RK	HOL	1991	E	rS	1	21	n	n	na	1	F	na	na	0	1	na	na
56	Niemeier U	D	1990	D	F	1	26	(x)	(x)	na	1	I	x	na	na	0	0	2,5
57	Connolly JF	USA	1989	E	rS	15	36	x	x	15,5	15	D	x	120	100	1	2	na
58	Hansis M	D	1989	D	rS	40	na	n	x	na	40	D	x	na	97,5	7	3	na
59	Kölliker F	CH	1989	D	rS	28	32	(x)	x	13	26	P	x	109	92,3	2	20	15

Tab. 4-02: Übersicht der Studien und Fallberichte zu Claviculapseudarthrosen (3-5)

Nr.	Autor	Land	Jahr	Sprache	Studienart 2)	Pat.zahl ges.	mittl. Pat.alter (J)	Frakturursache bekannt (x/n)	Primärtherapie bekannt (x/n)	mittl. Dauer Trauma bis CP-Therapie (Mo)	Anzahl CP-operierter Pat.	Therapie d. Pseudarthrose 3)	postoper. Immob. (x/n/na)	mittl. Follow-Up (Mo)	Knochenheilungsrate (%)	intra-/postoperative Komplikationen (Anzahl Pat.)	postoperative Beschwerden (Anzahl Pat.)	mittl. Dauer bis ME (Mo)
60	Koss SD	USA	1989	E	F	1	na	x	x	42	1	P	na	12	100	0	0	na
61a	Post M	USA	1989	E	F	1	18	n	x	15	1	P	na	13	100	0	0	13
61b	Post M	USA	1989	E	F	1	na	n	x	na	1	I	na	na	100	na	na	na
62	Karwasz RR	D	1988	D	F	1	31	x	x	3	1	P	na	0,75	100	0	0	na
63	Schuind F	BEL	1988	E	rS	5	45	x	x	8	5	F	n	na	100	3	1	1,7
64	Eckhardt B	D	1987	D	F	1	23	n	x	24	1	P	n	na	100	0	0	na
65a	Jupiter JB	USA	1987	E	rS	3	27	(x)	x	11,7	3	D	na	23,3	100	3	3	na
65b	Jupiter JB	USA	1987	E	rS	20	40	(x)	x	19,5	20	D	na	25,2	90,0	0	1	na
66a	Leitl J	D	1987	D	rS	21	na	n	n	na	21	D	na	na	na	na	na	na
66b	Leitl J	D	1987	D	rS	7	na	n	n	na	7	D	na	na	na	na	na	na
67	Lies A	D	1987	D	rS	24	na	n	n	na	22	P	na	na	90,9	na	7	na
68	Siebenmann RP	CH	1987	D	rS	3	na	n	x	na	3	I	x	3	100	1	na	6
69	Wood MB	USA	1987	E	rS	2	na	n	x	na	2	D	na	30	50,0	1	1	na
70	Connolly JF	USA	1986	E	F	1	30	x	x	60	1	R	x	18	100	na	0	na
71	Eskola A	FIN	1986	E	rS	24	39	x	x	24	24	D	x	42	91,7	4	8	na
72	Kay SP	USA	1986	E	F	1	57	n	x	11	1	R	x	10	100	na	1	na
73	Wood VE	USA	1986	E	F	2	59	x	x	27	2	R	na	na	100	na	2	na
74	Manske DJ	USA	1985	E	rS	10	36	x	x	na	10	P	x	28	100	0	4	na
75	Muizhuilis AK	RUS	1985	R	F	1	32	x	n	na	1	I	na	24	100	na	0	na
76	Bargar WL	USA	1984	E	F	1	28	x	x	12	1	R	na	24	100	0	0	na
77	Fontaine C	F	1984	F	rS	13	34	x	x	15	13	P	x	60	91,7	3	6	na
78	Heim C	CH	1984	D	F	1	15	n	x	48	1	P	x	na	100	na	0	15
79	Hierholzer G	D	1984	D	rS	43	36	n	x	na	43	P	n	na	94,7	5	14	18
80	Wilkins RM	USA	1983	E	rS	33	35	x	x	20,1	17	D	na	98,4	89,5	7	5	na
81	Hackenbruch W	CH	1982	D	rS	16	29	x	x	14	16	P	x	17	100	1	5	18
82	Hagemann H	D	1982	D	rS	20	34	(x)	x	na	20	D	x	36	100	7	5	na
83	Holland C	D	1982	D	rS	9	na	n	x	na	9	P	x	na	100	0	na	na
84	Karaharju E	FIN	1982	E	pS	12	36	n	n	26	12	P	x	12	100	2	0	10
85	Bronz G	D	1981	D	rS	11	37	x	x	12,7	3	P	x	24	100	1	0	12
86	Hargan B	IRE	1981	E	F	1	39	x	x	na	0	n	na	66	0	na	na	na
87	Rabenseifner L	D	1981	D	rS	17	25	n	n	na	11	P	x	82,3	100	1	1	na
88	Lindenthal B	D	1980	D	rS	17	39	x	x	13,8	17	P	(x)	na	100	2	8	7
89	Schmitt D	F	1979	F	rS	14	na	n	x	na	11	D	na	na	100	na	5	na
90	Pyper JB	IRE	1978	E	F	3	24	x	x	29,2	3	P	x	6	100	0	2	18
91	Blömer J	D	1977	D	rS	17	na	n	x	na	17	P	x	na	100	3	5	na

Tab. 4-02: Übersicht der Studien und Fallberichte zu Claviculapseudarthrosen (4-5)

Nr.	Autor	Land	Jahr	Sprache	Studienart 2)	Pat.zahl ges.	mittl. Pat.alter (J)	Frakturursache bekannt (x/n)	Primärtherapie bekannt (x/n)	mittl. Dauer Trauma bis CP-Therapie (Mo)	Anzahl CP-operierter Pat.	Therapie d. Pseudarthrose 3)	postoper. Immob. (x/n/na)	mittl. Follow-Up (Mo)	Knochenheilungsrate (%)	intra-/postoperative Komplikationen (Anzahl Pat.)	postoperative Beschwerden (Anzahl Pat.)	mittl. Dauer bis ME (Mo)
92	Edvardsen P	NOR	1977	E	rS	6	na	(x)	n	na	6	P	x	na	100	0	na	na
93	Hippe P	D	1977	D	F	3	na	n	x	108	3	P	x	na	100	0	0	15
94	Joukainen J	FIN	1977	E	rS	5	30	n	n	na	5	P	x	na	100	0	na	na
95	Hildebrandt G	D	1976	D	rS	19	na	n	x	na	19	D	na	na	na	na	na	na
96	Thompson AG	UK	1976	E	rS	2	na	n	x	17,5	2	P	na	na	100	na	na	9
97	Tregonning G	NZE	1976	E	rS	42	na	n	x	na	37	D	n	na	81,1	na	na	na
98	Weber BG	USA	1976	E	rS	17	na	n	x	na	17	D	x	na	94,1	na	na	na
99	Yates DW	UK	1976	E	F	1	53	x	x	18	1	I	na	3	100	0	1	na
100	Kehr H	D	1975	D	rS	16	na	n	x	na	16	P	n	na	93,8	1	4	na
101	Nevasier RJ	USA	1975	E	rS	4	na	n	n	na	4	D	x	na	100	0	0	n
102	O' Rourke C	UK	1975	E	rS	13	na	n	(x)	na	13	D	x	na	100	1	4	na
103	Schewior T	D	1974	D	rS	8	na	n	x	na	8	P	x	na	100	2	3	13
104	Steffelaar H	CH	1974	D	F	4	42	n	x	60	4	P	x	120	100	0	2	14
105	Rattenhuber R	D	1973	D	F	2	19	n	x	8	2	P	na	na	100	0	1	na
106	Rau H	D	1973	D	rS	7	na	n	x	na	7	I	na	na	100	na	na	na
107	Russe O	AUT	1973	D	rS	17	na	n	n	na	17	P	x	na	100	0	0	9
108	Scholze H	D	1973	D	rS	9	na	n	x	na	na	na	n	na	na	na	na	na
109	Walcher K	D	1973	D	rS	53	na	n	n	na	53	D	x	na	100	na	na	na
110a	Galle P	AUT	1971	D	F	3	45	x	n	3	3	P	na	40	100	2	0	na
110b	Galle P	AUT	1971	D	F	1	26	x	x	4,5	1	I	na	84	0	1	1	na
111	Koch F	D	1971	D	rS	39	na	(x)	x	na	31	D	x	na	87,1	20	na	na
112	Trillat A	F	1971	F	rS	28	na	n	x	na	25	D	na	na	91,7	4	3	na
113	Engel W	D	1970	D	F	1	58	x	n	na	1	P	na	na	100	0	0	na
114	Kaplan D	CH	1970	F	F	7	na	n	x	na	7	D	na	na	100	0	na	na
115	Marsh HO	USA	1970	E	rS	24	na	(x)	n	na	na	D	na	na	na	na	na	na
116	Probst J	D	1970	D	rS	5	na	n	x	na	5	P	n	na	100	0	0	21
117	Everke H	D	1969	D	rS	23	na	n	n	na	23	D	na	na	100	8	10	na
118	Mazzuca CR	I	1969	I	rS	21	26	x	x	na	17	D	17	na	82,4	3	3	na
119	Taylor AR	UK	1969	E	rS	31	33	n	n	na	na	I	na	na	na	na	na	na
120	Thurnheer W	CH	1969	D	rS	12	na	n	x	na	12	D	(x)	na	100	1	1	12
121	Brill E	D	1968	D	F	8	46	n	x	na	8	D	x	na	75,0	3	8	na
122	Lilienberg H	D	1967	D	rS	5	28	(x)	x	na	5	I	x	na	100	1	na	na
123	Baciu CL	ROM	1966	F	rS	10	30	n	x	na	10	D	x	15	90,0	3	na	na
124	Storen H	NOR	1966	E	F	1	47	n	x	36	1	A	x	84	100	1	0	na
125	Broichmann R	D	1965	D	F	4	44	n	n	4	4	D	x	20	75,0	na	na	na

Tab. 4-02: Übersicht der Studien und Fallberichte zu Claviculapseudarthrosen (5-5)

Nr.	Autor	Land	Jahr	Sprache	Studienart 2)	Pat.zahl ges.	mittl. Pat.alter (J)	Frakturursache bekannt (x/n)	Primärtherapie bekannt (x/n)	mittl. Dauer Trauma bis CP-Therapie (Mo)	Anzahl CP-operierter Pat.	Therapie d. Pseudarthrose 3)	postoper. Immob. (x/n/na)	mittl. Follow-Up (Mo)	Knochenheilungsrate (%)	intra-/postoperative Komplikationen (Anzahl Pat.)	postoperative Beschwerden (Anzahl Pat.)	mittl. Dauer bis ME (Mo)
126	Mayer JH	UK	1965	E	F	1	20	n	x	26	1	A	x	na	100	1	1	na
127a	Calcagni V	ITA	1964	I	rS	1	56	x	x	2	1	R	x	48	100	na	1	na
127b	Calcagni V	ITA	1964	I	rS	13	30	x	x	8	13	D	x	48	84,6	3	7	na
128	Franke D	D	1964	D	F	1	42	x	x	11	1	P	na	na	100	0	1	na
129	Gualtieri G	ITA	1964	I	rS	7	22	x	x	10	7	A	x	22	100	0	1	na
130	Küntsch G	D	1964	F	F	1	56	n	x	36	1	I	n	na	100	na	na	na
131	Ewerwahn WJ	D	1963	D	F	2	34	n	x	60	2	A	x	24	0	2	2	na
132	Johnson E	USA	1963	E	rS	68	43	x	(x)	na	5	I	x	na	100	na	na	na
133	Nurra A	ITA	1962	I	rS	7	25	x	(x)	na	7	D	x	na	100	na	na	na
134	Röding H	D	1962	D	rS	5	31	x	x	4,2	5	I	x	na	80,0	1	na	na
135	Sakellarides H	USA	1961	E	rS	14	34	x	x	14,8	9	D	x	118	55,6	4	5	na
136a	Neer CS	USA	1960	E	rS	4	39	x	x	13	1	P	x	20	100	0	0	na
136b	Neer CS	USA	1960	E	rS	14	34	x	x	31	10	D	x	20	50,0	5	na	na
137	Sittek G	D	1960	D	rS	12	31	n	x	7	12	D	n	na	75,0	3	na	na
138	Calabrò F	I	1958	I	F	1	24	x	x	3	1	I	x	2	100	0	0	na
139	Parrini L	I	1957	I	rS	9	36	x	x	24	5	D	x	na	60,0	na	3	na
140	Küntsch G	D	1952	D	F	4	31	x	x	3	4	I	n	3,5	100	0	0	3,5
141	Annersten S	SWE	1948	E	F	5	38	x	x	5,3	5	A	x	35,5	80,0	1	1	na
142	Basom WC	USA	1947	E	F	5	na	n	n	na	5	A	x	na	100	na	na	na
143	Storen H	NOR	1946	E	F	1	39	n	n	312	1	A	x	27	100	1	0	na
144a	Ghormley RK	USA	1941	E	rS	na	41	x	x	70,2	na	A	na	na	na	na	na	na
144b	Ghormley RK	USA	1941	E	rS	na	41	x	x	11,5	na	A	na	na	na	na	na	na
145a	Berkheiser EJ	USA	1937	E	rS	8	34	x	x	16,8	8	A	x	24	100	na	na	na
145b	Berkheiser EJ	USA	1937	E	rS	1	70	x	n	na	0	n	na	na	na	na	na	na
146	Verbrugge J	F	1934	F	F	1	na	n	x	4	1	A	na	na	100	1	1	na
147	Mouchet M	F	1929	F	F	1	na	n	x	na	1	A	na	na	100	0	na	na

1) grau unterlegt: Veröffentlichungen mit Teilstudien

2) pS = prospektive Studie, rS = retrospektive Studie, F = Fallbericht

3) P = Plattenosteosynthese, I = intramedulläre Fixation, F = Fixateur externe, D = diverse, A = andere

(x) = teilweise, n = nein, na = nicht bekannt; ME = Implantat-Entfernung

Tab. 4-03: Nicht weiter auswertbare Berichte über posttraumatische Claviculapseudarthrosen

Nr.	Autor	Jahr	Sprache	Anz. Pat.
1	Vogel	1815	F	1
2	Petit	1819	F	1
3	Churchill	1822	E	1
4	Wilhelm	1822	D	1
5	Velpeau	1825	F	1
6	Brosie (in Amesburg)	na	D	1
7	Amesburg	1831	D	1
8	Velpeau	1831	F	1
9	Gerdy	1834	F	1
10	Gorré/Chassaignac	1836	F	1
11	Malle	1841	F	1
12	Malgaigne (Lossen)	1848	F	3
13	Hamilton	1854	E	1
14	Gerdy	1856	F	1
15	Gruber	1860	F	1
16	Gurlt	1862	D	na
17	Champoullion	1864	F	1
18	Ludwig	1866	D	1
19	von Pitha	1868	D	na
20	Albert	1871	D	1
21	Wentzel	1879	D	1
22	Schuckelt	1885	D	1
23	Bardenheuer	1886	D	1
24	Hoffa	1888	D	na
25	Holmes (Lossen)	na	E	1
26	Albert (Lossen)	na	D	na
27	König (Lossen)	na	D	na
28	Hueter-Lossen (Lossen)	na	D	na
29	Lossen	1889	D	na
30	Casanova	na	F	na
31	Codivilla	1910	I	1
32	Berenger-Feraud	1915	F	26
33	Wodarz	na	D	1
34	Verga	1919	I	1
35	Matti	1922	D	na
36	Hahutov	1926	R	na
37	Chalier	1930	F	2
38	Schmieden (Schuppler)	na	D	na
39	Lambotte (Verbrugge)	na	F	2
40	Köhler	1932	D	1
41	Galm	1935	D	1
42	Ehalt	1936	D	na
43	Kiaer (Parrini)	1941	I	2
44	Porta	1942	I	1
45	Foco	1946	I	1
46	Gardella	1946	I	1
47	Blumenfeld	1947	E	5
48	Cesarani	1947	I	1
49	Böhler	1951	D	na
50	Massart	1952	F	> 1
51	Mezzari	1952	I	8
52	Kuzminskij	1953	D	na
53	Pessagno	1954	I	2
54	Scarfi	1955	I	1
55	Böhler	1956	E	20

Nr.	Autor	Jahr	Sprache	Anz. Pat.
56	Bruck	1957	D	2
57	Epstein	1957	D	4
58	Stavrache	1957	na	4
59	Merle d'Aubigné	1958	F	19
60	Assennato	1959	I	12
61	Poltera	1959	D	12
62	Dal Monte	1960	I	9
63	Guarini	1960	I	na
64	Plantec	1960	F	na
65	Iazikov	1962	UNG	4
66	Radulescu	1962	UNG	17
67	Suire	1963	F	1
68	Daab	1965	POL	na
69	Müller (Rattenhuber)	1966	D	3
70	Schwier	1967	D	2
71	Küntscher	1968	D	na
72	Portych	1969	POL	na
73	Engel	1970	D	12
74	Le Foll	1970	F	43
75	Mohr	1970	D	6
76	Grand	1971	F	na
77	Tkachenko	1972	R	na
78	Probst	1973	D	95
79	Miehe	1974	F	19
80	Welz	1974	D	8
81	Ritchey	1976	E	na
82	Arens	1979	D	18
83	Straszecki	1979	P	na
84	Blömer	1980	D	21
85	Op den Winkel	1980	D	17
86	Bronz	1981	D	11
87	Müller	1982	D	19
88	Fedyn	1984	R	na
89	Jäger	1984	D	10
90	Zoria	1985	R	na
91	Mikkelsen	1986	DÄN	na
92	Hackstock	1988	D	6
93	Meeder	1988	D	1
94	Jupiter	1989	E	na
95	White	1989	E	40
96	Wang	1990	E	8
97	Van der Werken	1991	HOL	4
98	Herbsthofer	1994	D	2
99	Yoshida	1997	E	8
100	Ngarmukos	1998	E	11
101	Krüger-Franke	2000	D	6
102	Grassi	2001	E	2
103	Nolte	2001	E	2
104	Flinkkilä	2002	E	4
105	Nowak	2002	E	17
106	Rokito	2002	E	5
107	Garnier	2003	E	2
108	Babhulkar	2005	E	2
109	Verborgt	2005	E	2
	Summe Patienten			> 568

Studiendauer

Tab. 4-04 zeigt die Analyse des zeitlichen Umfangs der retrospektiven und prospektiven klinischen Studien:

Tab. 4-04: Auswertung der unterschiedlichen Studiendauern der prospektiven und retrospektiven Studien zur Therapie der Claviculapseudarthrose (in Jahren)

Studiendauer (in Jahren)	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-20	21-25	>25
Anteil der Studien (%)	8,7	26,1	22,8	19,6	4,3	8,7	5,4	4,3
Anteil der Studien (Anz., n=92)	8	24	21	18	4	8	5	4

Es wird deutlich, dass die Autoren ihre Studien über Claviculapseudarthrosen in sehr variablen Zeitspannen vorgenommen haben (Rang: 1-46 Jahre). Der zeitliche Umfang der Studien liegt häufig im Bereich von 4-12 Jahren. Aber auch der Anteil von Studiendauern mit 10 Jahren und länger liegt mit 38 von 92 (41%) relativ hoch, was zu einer kritischen Beurteilung der Konstanz der diesbezüglichen Studienbedingungen Anlass gibt. Die längsten Studien wurden durchgeführt von Sakellarides (46 Jahre, 1961), O'Rourke (30 Jahre, 1975), Ballmer (27 Jahre, 1998), Ghormley (26 Jahre, 1941) und Marti (25 Jahre, 2003).

Anzahl Patienten pro Studie

Tab. 4-05 zeigt die Analyse der Studiengrößen der 147 Studien und Fallberichte:

Tab. 4-05: Auswertung der unterschiedlichen Studiengrößen (Anzahl Patienten)

Studiengröße (Anz. Pat.)	1-5	6-10	11-20	21-30	31-40	>40
Anteil der Studien (%)	40,8	14,3	25,2	9,5	6,1	4,1
Anteil der Studien (Anz., n=147)	60	21	37	14	9	6

Die mittlere Patientenanzahl bezogen auf die Gesamtanzahl der 147 Studien und Fallberichte beträgt 12,3. Bezieht man sie nur auf die Studien, beträgt sie durchschnittlich 18,3 Patienten pro Studie. Fallberichte und ‚Studien‘ mit 1-5 Patienten stellen den Hauptteil dar, wobei eine Häufung auch bei Studiengrößen von 11-20 Patienten festzustellen ist.

Follow-Up-Zeiten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose

Unter den 166 Studien inkl. Teilstudien und Fallberichten enthielten lediglich 101 (60,8%) Angaben über Follow-Up-Zeiten. Tab. 4-06 weist die diesbezüglichen statistischen Daten aus.

Danach ergibt sich aus 93 Studien, die Angaben zu einer *mittleren* Follow-Up-Zeit enthielten, ein durchschnittlicher Gesamtmittelwert von 40,9 Monaten, in denen jeweils eine Nachbeobachtung bzw. Nachbeobachtung des operativen Ergebnisses nach Claviculapseudarthrose-Osteosynthese durchgeführt wurde. Betrachtet man nur den Zeitraum der letzten zehn Jahre von 1996-2005 anhand von 42 Studien, so liegt die mittlere Nachbeobachtungszeit mit 35,9 Monaten noch etwas niedriger.

Tab. 4-06: Durchschnittliche Follow-Up-Zeiten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose (in Monaten)

Anzahl Studien n	Gesamtmittel (min/max)	Gesamtmin (min/max)	Gesamtmax (min/max)
93	40,9 (1/120); (4/120) ¹⁾		
99		19,9 (1/120); (8/120) ¹⁾	
100			120,5 (1/348); (8/348) ¹⁾
42 ²⁾	35,9 (2/120); (4/120) ¹⁾		

1) (min/max) gilt hier für Studien mit mehr als 5 Patienten

2) Angaben aus Studien und Fallberichten aus dem Zeitraum 1996-2005

99 bzw. 100 Studien waren hinsichtlich *minimaler* bzw. *maximaler* Nachbeobachtungszeiten auswertbar. Auffallend ist hierbei die enorme Heterogenität der Follow-Up-Zeiten, die im Zeitraum von 1 Monat bis zu 348 Monaten variiert. Um dem statistischen Einfluss kleiner Studien (Patientenanzahl 1-5) Rechnung zu tragen, sind auch die entsprechenden Mittelwerte für Studien mit mehr als 5 angegeben. Eine besonders lange Nachbeobachtungszeit mit 300-348 Monaten weisen die Autoren Middleton, Marti bzw. Wilkins (Wilkins 1983, Middleton 1995, Marti 2003) in ihren Publikationen aus.

Tab. 4-07: Follow-Up-Zeiten (in Monaten) nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose

Follow-Up-Zeiten (in Monaten)	1-20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100
Anteil der Studien (Anzahl, n=93)	29	34	12	7	4	7
Anteil der Studien (in %)	31,2	36,6	12,9	7,5	4,3	7,5

Tab. 4-07 lässt erkennen, dass die Mehrzahl der Autoren (67,8%) Follow-Up-Zeiten angeben, deren Mittelwerte mit 1 bis 40 Monaten vergleichsweise klein sind und an einer sorgfältigen und zeitlich ausreichenden Nachbeobachtung des Operationsergebnisses zweifeln lassen. Darüber hinaus wird durch die starke Unterschiedlichkeit der Follow-Up-Zeiten, die Vergleichbarkeit der einzelnen Operationsergebnisse, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermittelt wurden, erschwert.

4.1.3. Zeitliche Definition der Claviculapseudarthrose

Will man die Studienergebnisse der Arbeiten über Claviculapseudarthrosen vergleichen, so erscheint die Forderung nach einer einheitlichen zeitlichen Definition, ab wann von einer Pseudarthrose der Clavicula zu sprechen ist, als sinnvoll. Die Auswertung aller in der Gesamtliteratur verfügbaren Daten über die autorenspezifische Auslegung innerhalb der letzten 85 Jahre macht jedoch an Hand der Tabn. 4-08 bzw. 4-09 deutlich, wie uneinheitlich sich die zeitliche Definition der Claviculapseudarthrose in der Literatur darstellt. Insgesamt überstreicht sie eine Mindestzeitspanne von 3-12 Monaten ab initialem Claviculatrauma. Die meisten der Autoren warten jedoch eine Dauer von mehr als 6 Monaten der Frakturheilung ab, bis sie von einer Claviculapseudarthrose sprechen.

Tab. 4-08: Zeitliche Definitionen der Claviculapseudarthrose in Abhängigkeit von der Zeitspanne des initialen Traumas (in Monaten):

Autor	Jahr	Zeitspanne (Mo)
Nutter	1922	> 12
Campell	1924	> 6
Rowe	1958	> 6
Sakellaridis	1961	> 4
Nurra	1962	> 4
Johnson	1963	> 4
Müller	1963	> 8
Nicol	1964	> 6-9
Marsh	1970	> 5
Fiedrich	1973	> 8
Solheim (ASIF)	1973	> 4
Müller	1977	> 6
Pyper	1978	> 4
Karaharju	1982	> 4
Wilkins	1983	> 4
Fontaine	1984	> 6
Eckhardt	1987	> 4
Dameron	1989	> 9
Kölliker	1989	> 8
White	1989	> 6
Nikiforidis	1996	> 6
Simpson	1996	> 4
Ebraheim	1997	> 3
Ballmer	1998	> 6
Wu	1998	> 12
Nowak	2000	> 6
Nowak	2001	> 6
Sadiq	2001	> 4
Nowak	2002	> 6
Erdmann	2004	> 4
Kabak	2004	> 6
Nowak	2004	> 6
O' Connor	2004	> 4
Robinson	2004	> 6
Jubel	2005	> 4
Rang		> 3-12

Tab. 4-09: Analyse der zeitlichen Definitionen der Claviculapseudarthrose (in Monaten)

Beginn Pseudarthrose (nach Mo)	> 3-4	> 5-6	> 7-8	> 9-10	> 11-12
Anteil der Autoren (Anz., n= 35)	14	15	3	1	2
Anteil der Autoren (in %)	40	43	9	3	6

4.2. Epidemiologie der Claviculapseudarthrose

4.2.1. Anteil der Claviculapseudarthrosen an Pseudarthrosen

Vergleicht man die Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen mit Pseudarthrosen anderer Knochenbereiche, so liegt deren relativer Anteil bei etwa 2-6% (Tab. 4-10):

Tab. 4-10: Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Fraktur im Vergleich zu Pseudarthrosen anderer Knochen

Lokalisation der Pseudarthrose (%)	Friedrich (n = 123)	Solheim (n = 40)	Thompson (n = 53)	Blumenfeld (n = 135)	Hildebrandt (n = 336)
Os naviculare	43,1	2,5	na	na	13,7
Tibia	21,1	45,0	47,2	35,6	38,4
Femur	9,8	22,5	22,6	15,6	10,7
Humerus	8,1	2,5	9,4	13,4	12,5
Unterarm	8,9	22,5	15,1	27,3	16,4
Clavicula	2,4	2,5	3,8	3,7	5,7
Malleolen	3,2	na	na	na	2,7
Grundphalanx III	0,8	na	na	na	na
Os metacarpale I	0,8	na	na	na	na
Talus	0,8	na	na	na	na
Fibula	0,8	na	na	4,4	na
Rippen	na	na	1,9	na	na
Olecranon	na	2,5	na	na	na

4.2.2. Anteil der Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur

Die Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen - ohne Differenzierung der Lokalisation - bezogen auf die Anzahl der Claviculafrakturen nach undifferenzierter, konservativer sowie unterschiedlich operativer Versorgung der Claviculafraktur zeigt Tab. 4-11. Es wird unterschieden zwischen Angaben der Autoren aus deren eigenen Studien und Angaben der Autoren, die diese selbst der Literatur entnommen haben.

Betrachtet man die Gesamt-Entstehungsrate der Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur, so liegt diese nach den Angaben der Autoren über ihre eigenen Studien im Bereich von 0 bis 16,7%. Bei Sichtung der Literatur geben die Autoren jedoch sogar eine maximale Claviculapseudarthrose-Rate von bis zu 40-45% (Löffler 1979, Lindenthal 1980, Hierholzer 1984, Lindenmaier 1991) an.

Die Claviculapseudarthrose-Rate nach konservativer Therapie liegt bei durchschnittlich 3,2%, die nach operativen Verfahren vergleichsweise bei 5,4% (Tabn. 4-12 und 4-13).

Tab. 4-11: Häufigkeit der Claviculapseudarthrose (CP) nach traumatischer Claviculafraktur

Autor	Jahr	Anzahl Claviculafrakturen	Primärtherapie	CP-Rate aus Literatur (%)	CP-Rate aus Autor-Studie (%)
Albrecht	1981	189	kons		1,6
Ali Khan	1978	20	oper (PO)		0,0
Annersten	1948	350	kons + oper		1,3
Annersten	1948	350	kons (AS/RS)		1,3
Arens	1979	359	kons + oper		0,6
Baciu	1966	600	kons		1,7
Bakó	1965	58	oper		7,0
Bakó (Rattenhuber)	1973	24	oper (C)		8,3
Bakó (Rattenhuber)	1973	31	oper (IM)		6,4
Ballmer	1998		kons + oper	0,1-13	
Barlassina	1960	89	kons		10,1
Barlassina	1960	73	oper (IM)		5,5
Bauer	1986	123	oper (PO)		15,0
Blömer	1977	182	kons		1,1
Boehme	1991		kons	< 2	
Böstman	1997		oper (PO)		2,9
Brill	1968	119	kons		2,5
Brill	1968	15	oper (IM)		0,0
Bronz	1981	43	oper (PO)		2,3
Bruck	1957	52	oper (IM)		3,8
Brunner	1992		kons	1-3	
Calcagni	1964	783	kons		0,4
Camurati	1959	484	kons		0,0
Capicotto	1994		kons	0,1-5,0	
Connolly	1989		kons	< 1	3-5
Crone-Münzebrock	1959	>50	oper (IM)		0,0
Dauids	1996		kons	< 2	
Durak	2002	37	kons		2,7
Duttweiler	1933	662	kons + oper		0,4
Eberle	1973	116	kons		7,0
Ebraheim	1997		kons	< 2	
Echtermeyer	1984	726	kons		0,7
Edvardsen	1977		kons		0,1
Edvardsen	1977		oper		4,4
Edwards	1999		kons	0,9-4	
Effenberger	1981	159	kons		1,3
Epstein (Trillat)	1946	225	oper		2,0
Erdmann	2004		kons	0,1-0,8	
Everke	1969	538	kons		0,7
Eskola	1986		kons	0,1-5,0	3,0
Fabeck	1964	76	oper		2,6
Flavin	2004		kons		3,0
Fuchs	2002	46	oper (PO)		6,5
Fuchs	2002	25	oper (PO)		12,0
Gärtner (Koch)	na	190	kons		1,0
Galle	1971	892	kons		0,3
Gerhardt	1958	11	oper (IM)		0,0
Grassi	2001	40	kons		0,0
Grassi	2001	40	oper (IM)		5,0
Hackenbruch	1982-1		kons	0,3-5,0	
Hagemann	1982		kons	0,3-2,0	
Herbsthofer	1994		kons	0,1-2,7	
Hierholzer	1984		kons	0-1	
Hierholzer	1984		oper	7-45	
Hill	1997	52	kons		15,4
Hill	1997	>3000	kons	0,4	

Tab. 4-11: Häufigkeit der Claviculapseudarthrose nach traumatischer Claviculafraktur (Forts.)

Hirschmann	1992		kons	0-5	
Hirschmann	1992	86	kons (RS)		2,3
Hirschmann	1992	25	oper (PO)		0,0
Jäger	1984	433	kons		2,7
Johnson	1963		kons	1,3	
Jones	2000		kons + oper	0,1-15	
Jubel	2002-1		kons + oper	0,3-15	
Jubel	2002-1	20	kons (RS)		10,0
Jubel	2002-1	98	oper (IM)		1,0
Jubel	2002-2	65	oper (IM)		1,5
Kaplan	1970	139	kons		5,1
Kaplan	1970	33	oper prim (IM)		12,1
Kaplan	1970	7	oper sek (div)		14,3
Kloen	2002		kons + oper	0,1-15	
Kloen	2004		oper	0,9-4	
Knöfler	1962	25	oper (C)		12,0
Knöfler	1962	47	oper (IM)		2,1
Kölliker	1989		kons	0,1-4,6	
Laursen	1999		kons	< 2	
Lindenmaier	1991		kons	0,1-7,0	
Lindenmaier	1991		oper	4,6-40	
Lindenmaier	1991	56	oper (div)		1,8
Lindenthal	1980		kons	0,3-0,9	
Lindenthal	1980		oper	7,0-45	
Löffler	1979	11	oper (div)		9,1
Löffler	1979		oper (div)	10-40	
Löffler	1979		kons	0,3-2,7	
Mann	1969	267	kons		0,0
Mann	1969	35	oper		8,6
Manske	1985		kons	0,1-1,9	
Manske	1985		oper (div)	4,6	
Marsh	1970	1474	kons		1,9
Marti	2003		kons	0,1-0,8	
Marti	2003		oper	3,7-4,6	
Mazzuca	1969	757	kons + oper		0,13
Mazzuca	1969	707	kons (G)		0,0
Mazzuca	1969	12	kons (D)		8,3
Mazzuca	1969	38	oper (IM)		0,0
Mezzari	1951	59	na		1,7
Muizhulis	1985		kons + oper	0,4-7,6	
Neer	1960	2235	kons		0,1
Neer	1960	45	oper		4,6
Ngarmukos	1998	2423	kons + oper (IM)		0,5
Nordqvist	1998	185	kons		3,8
Nowak	2000	187	kons		4,8
Nowak	2002		kons	3-5	
Nowak	2002	222	kons (AS)		6,7
Nowak	2004	208	kons (AS)		7,2
Nurra	1962	1588	na		0,4
O'Connor	2004		kons	0,1-1	
Op den Winkel	1980	171	kons		1,2
Operti	1952	287	na		0,7
O'Rourke	1975	22	oper (PO,IM)		0,0
Paffen	1978	73	oper (na)		3,0
Poigenfürst	1991	60	oper (PO)		6,7
Poigenfürst	1992	122	oper (PO)		4,0
Poltera	1959	171	kons + oper		7,0

Tab. 4-11: Häufigkeit der Claviculapseudarthrose nach traumatischer Claviculafraktur (Forts.)

Poltera	1959	83	oper (C/IM)		4,8
Poltera	1959	88	kons		9,1
Proubasta	2004		kons + oper	0,1-15	
Robinson	1998	890	kons + oper		4,8
Robinson	1998	890	kons (AS)		1,0
Robinson	1998	890	oper (na)		3,8
Robinson	2004	868	kons (AS)		6,2
Robinson (Jubel)	2004	581	kons (AS)		4,5
Radulescu (Trillat)	1962		na		1,3
Rau	1973	465	kons		1,5
Rau	1973	45	oper (IM)		2,2
Refior	1970	384	kons (div)		2,7
Refior	1970	49	oper (div)		10,2
Rowe	1968	566	kons		0,8
Rowe	1968		oper (IM)		3,7
Rüedi	2003		kons + oper	0,1-23	
Rüter	1982		kons + oper	5-7	
Sadiq	2001	684	na	0,4-12	2,9
Sankarankutty	1975	100	kons (AS)		0,0
Schmit-Neuerburg	1982	196	kons		1,5
Schmitt	1979	404	kons		3,2
Schuind	1988		oper (div)	6,7	
Schulz	1966	48	oper (IM)		0,0
Schuppler	1935-2	224	kons		0,0
Schwarz	1984	38	oper (IM)		13,2
Schwarz	1984	185	kons		5,7
Schwarz	1986	47	oper (IM)		12,8
Schwarz	1986	14	oper (PO)		14,3
Schwarz	1992	36	oper (PO)		8,3
Shackford	2003		kons	< 1-5	
Shen	1999	232	oper (PO)		3,0
Siebenmann	1987	41	oper (IM)		4,9
Sittek	1960	90	kons + oper		13,3
Steffelaer	1974		kons	< 5	
Suire	1963	320	oper (IM)		0,3
Taylor	1969		kons	0,9	
Trillat	1971	100	oper (na)		0,0
van der Werken	1991		kons	0,1-2,2	
van der Werken	1991	200	kons		2,0
Verborgt	2005	39	oper (PO)		5,0
Wentz	1999		kons	0,9-4,0	
White	1989	140	na	13,0	
Wick	2001		kons	1-2	
Wodarz (Galm)	1935	6	oper (na)		16,7
Wodarz	1932	16	oper (C)		6,3
Gesamt (kons., Rang)				0,1-7	0-15,4
Gesamt (oper., Rang)				0,9-45	0-16,7
Gesamt (Rang)				0-45	0-16,7

- 1) kons = konservative Therapie (AS = Armschlinge, RS = Rucksackverband, D = Desaultverband, G = Gipsverband)
oper = operative Therapie (C = Cerclage/Zuggurtung, IM = intramedulläre Fixation, PO = Plattenosteosynthese)

Tab. 4-12: Histogrammische Auswertung der Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen (in %) nach unterschiedlichen Therapien der Claviculafraktur (Studiendaten der Autoren)

Therapie	ges.	0-1	2-3	4-6	7-10	11-15	>15
konservativ (Autoren abs)	48	15	17	7	7	1	1
konservativ (Autoren %)	100	31,3	35,4	14,6	14,6	2,1	2,1
konservativ (Anzahl Frakturen)	17.043	8.642	5.045	1.681	1.534	89	52
operativ (Autoren abs)	51	11	10	11	9	9	1
operativ (Autoren %)	100	21,6	19,6	21,6	17,6	17,6	2,0
operativ (Anzahl Frakturen)	3.678	747	862	1.385	317	361	6

Tab. 4-13: Statistische Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen (in %) nach unterschiedlichen Therapien der Claviculafraktur (Studiendaten der Autoren)

Therapie	Anzahl Autoren	Anzahl Frakturen	Min-Wert	Mittelwert	Max-Wert
konservativ	48	17.043	0	3,2	15,4
operativ ges.	51	3.678	0	5,4	16,7
operativ (IM)	19	1.092	0	3,9	13,2
operativ (PO)	13	785	0	6,2	15,0
operativ (Cerclage)	3	65	6,3	8,9	12,0

Nach Anwendung intramedullärer Verfahren liegt der relative Anteil der Claviculapseudarthrosen mit durchschnittlich 3,9% niedriger als nach Plattenosteosynthese mit 6,2%.

4.2.3. Anteil lateraler Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur

Tab. 4-14 liefert eine Zusammenstellung der Literaturdaten hinsichtlich des Anteils lateraler Claviculapseudarthrosen bezüglich Fraktur-Typ und Therapieform. Die Rate der Claviculapseudarthrosen bei lateralen Claviculafrakturen liegt demnach in einem Bereich von 0-44%, wobei operative Therapieformen tendentiell mit maximal 32% ein etwas besseres Behandlungsergebnis liefern als konservative.

Tab. 4-14: Anteil lateraler Claviculapseudarthrosen (in %) bezogen auf Fraktur-Typ und Therapieform

Autor	Jahr	Anz. Frakturen	Typ der Fraktur	Therapie	Anteil (%)
Neer	1963	12	Neer II	kons	33
Neer	1963	7	Neer II	oper	14
Neer	1968		Neer II	kons	22
Jäger	1984			kons	33
Kavanagh	1985	15	Neer II	kons	40 ¹⁾
Kavanagh	1985	15	Neer II	oper	0
Eskola	1987	20		oper	5
Deafenbaugh	1990		JB IIa	kons	30
Kona	1990	19	JB IIa	oper	32
Golser	1991	11	Neer II (9x), III (2x)	oper	0
Golser	1991	23	Neer I	kons	0
Brunner	1992	75	div	kons	5
Brunner	1992	44	JB I	kons	0
Brunner	1992	16	Neer II	kons	25
Brunner	1992	13	JB IIa	kons	31
Brunner	1992	3	JB IIb	kons	0
Brunner	1992	15	JB III	kons	0
Edwards	1992	20	Neer II	kons	30
Edwards	1992	23	Neer II	oper	0
Nordqvist	1993	23	Neer II	kons	22
Nordqvist	1994			kons	11
Hessmann	1996	53	Neer II	oper	0
Hessmann	1996	4	Neer II	kons	25
Robinson	1998			kons	7
Krüger-Franke	2000			kons	12
Nowak	2000			kons	7
Flinkkilä	2002	22	Neer II	oper (IM ²⁾)	9
Flinkkilä	2002	17	Neer II	oper (PO)	12
Fuchs	2002	21		oper (PO)	0
Rokito	2002	16	Neer II	kons	44
Rokito	2002	14	Neer II	oper	0
Fann	2004	32	Neer II	oper (IM ³⁾)	0
Robinson	2004-2			kons	1
Rang				kons	0-44
Rang				oper	0-32

Neer II = Neer Typ II (lat. Fraktur, med. Anteil des Lig. coracoclaviculare vom prox. Claviculafragment abgelöst, dist. Fragment durch einen Bandanteil stabilisiert)

JB I = Jäger/Breitner I (lat. Fraktur, stabile Bänder)

JB IIa = Jäger/Breitner IIa (lat. Fraktur, mit Ablösung der Pars conoidea vom prox. Fragment)

JB IIb = Jäger/Breitner IIb (lat. Fraktur, erhaltene Pars conoidea, Abriss der Pars trapezoidea vom lat. Fragment)

JB III = Jäger/Breitner III (lat. Fraktur knapp medial der intakten Ligg. coracoclaviculare, aber noch im lat. Claviculadrittel)

1) = 40% Pseudarthrosen und weitere 40% mit verzögerter Heilung (delayed union)

2) extra- bzw. transartikuläre Kirschner-Draht-Fixation (meist 2 Drähte) mit teilweise Cerclage/Zuggurtung

3) transacromialer Knowles-Pin

4.2.4. Lokalisation der Claviculapseudarthrosen

Die mögliche Lokalisation der Claviculapseudarthrose wird üblicherweise in einen medialen (sternalen), mittleren (diaphysären, Abbn. 4-02 und 4-03) und lateralen (acromialen) Drittelbereich eingeteilt. Tab. 4-15 gibt Angaben zur Häufigkeit der unterschiedlich möglichen Lokalisation der posttraumatischen Claviculapseudarthrosen aus der Literatur wieder:

Tab. 4-15: Lokalisation der Claviculapseudarthrosen

Autor	Jahr	Pat.zahl	mediales Drittel (%)	mittleres Drittel (%)	laterales Drittel (%)
Hagemann	1982	20	5 ^{a)}	80 ^{b)}	15 ^{c)}
Jäger	1984				' häufig'
Leitl	1987	28	0	75	7
Thompson	1990			90	
Boehme	1991	50		80	
Nowak	2000	9	0	78	22
Rang			0-5	75-90	7-22

a = sternales Viertel, b = mittlere zwei Viertel, c = laterales Viertel

Danach sind mit 75-90% Claviculapseudarthrosen am häufigsten im Bereich des mittleren Claviculadrittels, oft am Übergangsbereich zum lateralen Drittel anzutreffen. Pseudarthrosen der Clavicula im lateralen (acromialen) Drittel werden mit 7-22% genannt, während das mediale (sternale) Drittel mit 0-5% nur selten von einer Pseudarthrose betroffen ist.

Die statistische Auswertung der Studien und Fallberichte (Tab. 4-16) ergab 1696 Claviculapseudarthrosen mit zuordenbarer Lokalisation:

Tab. 4-16: Lokalisationen der Claviculapseudarthrosen:

Lokalisation	Anzahl	in %
mittleres Drittel	1546	91,2
laterales Drittel	140	8,2
sternales Drittel	10	0,6
gesamt	1696	100,0

Hiernach sind 91,2% aller Claviculapseudarthrosen im mittleren Abschnitt, 8,2% im lateralen und nur 0,6% im sternalen Drittel aufzufinden.



Abb. 4-01: Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels (ap-Röntgenaufn., Kabak 2004)



Abb. 4-02: Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels mit knöchernem Vorsprung nahe des Pl. brach. (ap-Röntgenaufnahme, Marti 2003)

4.2.5. Geschlechtsverteilung

Tab. 4-17: Geschlechtsverteilung der Claviculapseudarthrosen

Anzahl n	Männer (%)	Frauen (%)
1046	61,1	38,9

Von den 1807 ausgewerteten Patienten mit Claviculapseudarthrose waren 1046 durch ihr Geschlecht identifiziert. Dabei ergab sich eine androtrope Verteilung mit 639 männlichen Patienten (61,1%) zu 407 weiblichen Patienten (38,9%)

4.2.6. Altersverteilung

Tab. 4-18: Durchschnittliches Patientenalter bei Claviculapseudarthrosen (in Jahren)

Anzahl Studien n	Gesamtmittel (min/max) ¹⁾	Gesamtmin (min/max)	Gesamtmax (min/max)	Rang (min/max) ¹⁾
110	35,7 (22/46)			
78	36,8	20,3 (3 ²⁾ /58)	56 (23/83)	36,4 (11/66)
45 ³⁾	36,2	25,3	56,8	31,5

1) (min/max) gilt hier für Studien mit mehr als 5 Patienten

2) Obwohl die Auswertekriterien den Ausschluss von Patientenangaben von Patienten im Kindesalter vorsehen, konnte auf die Aufnahme einiger großer Studien nicht verzichtet werden, die einen tatsächlichen, jedoch statistisch unerheblichen Anteil an jüngeren Patienten hatten.

3) mind. > 17 Jahre

Demnach liegt das Alter von erwachsenen Patienten mit Claviculapseudarthrose, bei Erstdiagnostik bzw. Therapie gehäuft in einem Altersbereich von ca. 25 bis 56 Jahren mit einem Gesamtmittelwert im Bereich von ca. 36 Jahren.

4.2.7. Körperseite

Die Claviculapseudarthrose kann prinzipiell rechts-, links- oder auch sehr selten beidseitig auftreten:

Tab. 4-19: Auftreten der Claviculapseudarthrosen bezogen auf die Körperseite

Anzahl n	rechts (n)	rechts (%)	links (n)	links (%)
662	367	55,4	295	44,6

662 Claviculapseudarthrosen waren durch Angabe der Körperseite charakterisierbar. Rechtsseitige Claviculapseudarthrosen traten mit 55,4% etwas häufiger auf als Pseudarthrosen an der linken Clavicula mit 44,6% (Tab. 4-19).

Lediglich 5 beidseitige Claviculapseudarthrosen waren unter den Studien und Fallberichten beschrieben (Hargan 1981, Rabenseifner 1981, Mullett 2001, Kloen 2004, O'Conner 2004). Dies entspricht bezogen auf 1807 ausgewertete Claviculapseudarthrosen einem Anteil von 0,28%.

4.2.8. Trophik

Claviculapseudarthrosen können in ihrer pathologischen Ausprägung in den Erscheinungsformen atroph, oligotroph, hypertroph, als ‚*synovial pseudarthrosis*‘ oder als Defektpseudarthrose auftreten. Die Abgrenzungen sind nicht genau definiert. Darüber hinaus sind infizierte bzw. septische Claviculapseudarthrosen beschrieben (Tab. 4-20):

Tab. 4-20: Trophik der Claviculapseudarthrosen

Nr.	Trophik	Anzahl (n)	in %	Autoren/Bemerkung
1	atroph	474	61,4	
2	hypertroph	283	36,7	
3	oligotroph	8	1,0	Capicotto 1994, Marti 2003
4	synovial pseuarthrosis	7	0,9	Jupiter 1987, Capicotto 1994, Bradbury 1996, Ebraheim 1997, Hoe-Hansen 2003
5	=1+2+3+4	772	100	
6	Defektpseudarthrose (atroph)	16	1,5	bezogen auf Nr. 1
7	septisch/infiziert	16	2,1	bezogen auf Nr. 5
8	Claviculapseudarthrosen gesamt	1807		
9	septisch/infiziert	16	0,9	bezogen auf Nr. 8

Aus der Tabelle wird klar ersichtlich, dass atrophe Claviculapseudarthrosen mit 61,4% unter 772 charakterisierten Pseudarthrosen am häufigsten vorliegen. Hypertrophe Formen werden mit 36,7% registriert. Da nur wenige Autoren eine Differenzierung in oligotroph bzw. synovial pseudarthrosis vornehmen, sind diese Angaben statistisch wenig aussagekräftig.

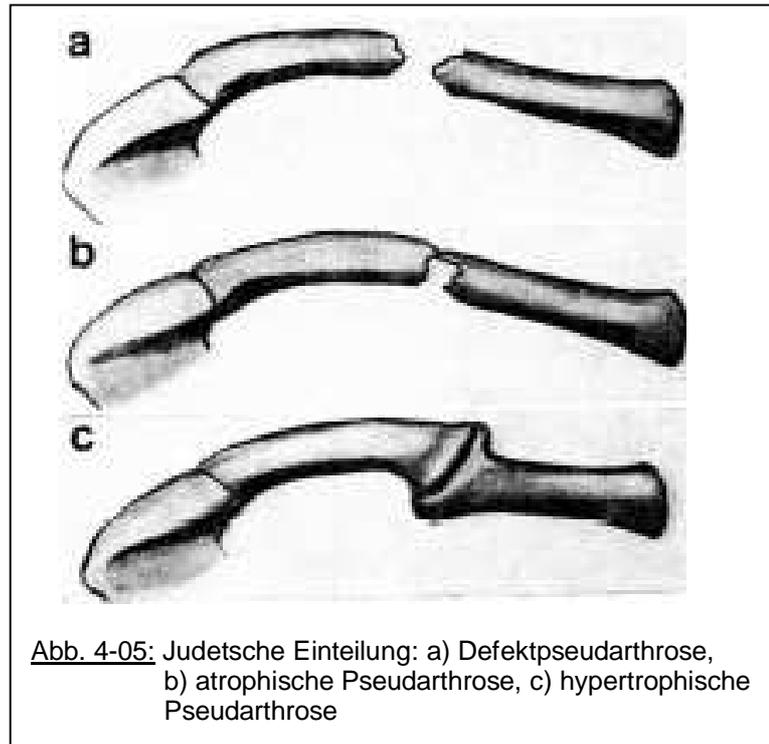
Abbn. 4-03 bzw. 4-04 zeigen exemplarische Röntgen-Befunde bei atropen bzw. hypertropen Claviculapseudarthrosen; Abb. 4-05 zeigt Claviculapseudarthrosen nach der Judetschen Einteilung (Walcher 1973):



Abb. 4-03: atrophe Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels (ap-Röntgenaufnahme, Kabak 2004)



Abb. 4-04: Diaphysäre hypertrophe Claviculapseudarthrose (ap-Röntgenaufnahme, Leupin 1998)



4.2.9. Straffe und schlaaffe Pseudarthrosen

In der Literatur wird vereinzelt, vor allem in älteren Publikationen, eine Differenzierung in straffe und schlaaffe Claviculapseudarthrosen vorgenommen (s. Diskussions-Teil). Innerhalb der analysierten Studien wird diese Klassifizierung nur in einem Fall durch Baciú (Baciú 1966) vorgenommen, der 6 straffe und 4 schlaaffe Claviculapseudarthrosen beschreibt.

4.2.10. Vaskularisation

Selten findet man in der Literatur eine Unterscheidung in avaskularisierte und hyper-vaskularisierte Claviculapseudarthrosen. Innerhalb der ausgewerteten Studien und Fall-berichte sind dazu jedoch keine Angaben vorhanden.

4.2.11. Symptome, Befunde und Diagnostik bei Claviculapseudarthrosen

Symptomatik

Claviculapseudarthrosen können klinisch symptomatisch oder asymptomatisch auftreten. Tab. 4-21 zeigt den Anteil der symptomatischen Claviculapseudarthrosen, wobei 100 von 147 Studien und Fallberichten auswertbare Angaben enthielten:

Tab. 4-21: Symptomatik der Claviculapseudarthrosen

n = 100	Pat. (abs)	Pat. (%)
symptomatisch	1054	94,2
asymptomatisch	65	5,8
	1119	100,0

Daraus ergibt sich, dass von den Claviculapseudarthrosen, die in klinische Begutachtung kommen, 94,2% symptomatisch sind (z.B. wegen Schmerzen oder Bewegungseinschränkungen, s. u.). In den 100 auswertbaren Studien-Berichten waren bei rund 83% der Studien jeweils *alle* Claviculapseudarthrosen symptomatisch.

Symptome und Befunde

Als Hauptsymptome bzw. -Befunde der Claviculapseudarthrose gelten: Schmerz, Funktionsminderung, neurovaskuläre Symptome durch Kompression der Subclavia-Gefäße und/oder des Plexus brachialis und kosmetische Deformationen. Tab. 4-22 beschreibt wesentliche Symptome/Befunde der Claviculapseudarthrose als Analyse der Literatur:

Tab. 4-22: Häufige Symptome und Befunde bei Claviculapseudarthrose

<p>1. Schmerzen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ruheschmerz - Belastungsschmerz <p>2. Funktionsminderung</p> <ul style="list-style-type: none"> - reduzierte bzw. abnorme glenohumerale Beweglichkeit - Kraftminderung/Schwächung der betroffenen Extremität - Schultersteifheit - Instabilität der Schulter / des Schultergürtels <p>3. Neurovaskuläre Symptome durch Kompression neurovaskulärer Strukturen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Brachialgie (Parästhesie, Anästhesie, Muskelschwäche) - Läsionen des Plexus brachialis - Thoracic-outlet-Syndrom u.a. - Einengung der Subclaviagefäße <p>4. Kosmetik/Deformation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Asymmetrie des Schultergürtels - Verkürzung der Clavicula - Deformationen - störende Callusbildung (Wulst) - auffällige Fehlstellung - ‚Ptosis‘ der Schulter <p>5. Crepitation</p>

88 Studien/Fallberichten mit insgesamt 864 Patienten konnten bezüglich der Häufigkeit der Symptome bei Claviculapseudarthrosen ausgewertet werden (Tab. 4-23):

Tab. 4-23: Symptome bei Claviculapseudarthrosen

	Symptomart	Anzahl Symptome (abs)	Anzahl Symptome (%)	Anzahl Symptome normiert (%)
1	Schmerz (in Ruhe und/oder Bewegung)	690	79,9	46,1
2	Funktionsminderung	490	56,7	32,8
3	neurovaskuläre Symptome	155	17,9	10,4
4	Kosmetik/Deformation	122	14,1	8,2
5	Crepitation	39	4,5	2,6
	gesamt	1496		100

Bei den 864 Patienten wurden insgesamt 1496 Symptome beschrieben, wobei 79,9% der Patienten und damit die Mehrheit über Schmerzen in Ruhe und/oder in Bewegung sowie 56,7% über Funktionsminderungen (Bewegungseinschränkungen, Kraftminderung) klagten. Neurovaskuläre Symptome waren bei 17,9%, kosmetische Auffälligkeiten bei 14,1% und Crepitationen im Schulterbereich bei 4,5% der Patienten beschrieben.

Diagnostik und Verlaufskontrolle

Tab. 4-24 listet die häufigsten diagnostischen Verfahren bei Claviculapseudarthrosen auf:

Tab. 4-24: Diagnostische Verfahren bei Claviculapseudarthrose

- **Inspektion**
 - Asymmetrie der Schulterkulisse
 - Verkürzung der Clavicula (, *dislocatio ad latus cum contractione*‘)
- **Palpation**
 - Verschieblichkeit der Bruchfragmente
- **Funktionsprüfung der Schulter**
- **Schmerzzustand**
 - VAS-Skala (Hoe-Hansen 2003, Marti 2003)
- **Bildgebung**
 - Röntgen (a.p., p.a., lateral, tangential, transthorakal, Panorama Aufnahme, Planigramm)
 - CT
 - NMR (bei neurovaskulären Begleitläsionen)
 - Szintigraphie (in Einzelfällen)
 - Angiographie (bei vaskulären Begleitläsionen)
- **Spezielle Diagnostik**
 - Elektromyographie (bei neurologischen Begleitläsionen)
 - Nervenleitgeschwindigkeit (bei neurologischen Begleitläsionen)

Zur präoperativen Diagnostik aber auch vor allem zur Verlaufdiagnostik und Bewertung der Wiederherstellung der Schulterfunktionen sowie der Patientenzufriedenheit unabhängig von Diagnose bzw. Therapie wurden verschiedene Bewertungsskalen (Scores) eingeführt:

Tab. 4-25: Bewertungsskalen (Scores) bei Claviculapseudarthrose

- Imatani Score (Imatani 1975)
- Tegner activity Score (Tegner 1985)
- Constant-Murley-Score (Constant 1987, Constant 1991)
- Pseudo-winging-Test der Scapula (Vastamäki 1989)
- DASH-Fragebogen der AAOS (Hudak 1996, Turchin 1998)
- SF-36-Test für subjektiven Gesundheitszustand (O' Connor 2004)
- 14-Punkte-Komorbiditäts-Test (O' Connor 2004)
- Behandlungs-Erwartungs-Skala (O' Connor 2004)

Dabei ist die in den letzten Jahren häufiger angewandte und als ‚Goldstandard‘ bezeichnete Bewertungsskala der Constant-Murley-Score, dessen Zusammensetzung aus 4 Parametern Tab. 4-26 wiedergibt (Olsen 1995, Laursen 1999, Marti 2003):

Tab. 4-26: Zusammensetzung des Constant-Murley-Score

• Schmerz	(0-15 Punkte)
• Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL)	(0-20 Punkte)
• Bewegungsumfang (ROM)	(0-40 Punkte)
• Kraft	(0-25 Punkte)

Gesamt (Constant-Murley-Score)	(0-100 Punkte)

Tab. 4-27: Bewertungsskalen (Scores) bei Claviculapseudarthrose (Auswertung der Studien)

Bewertungsskala (Score)	n	Anz. Pat.	Autoren
Constant-Murley-Score	14	201	Pedersen 1994, Olsen 1995, Bradbury 1996, Enneking 1999, Laursen 1999, Wentz 1999, Nowak 2001, Sadiq 2001, Chu 2002, Fuchs 2002, Hoe-Hansen 2003, Marti 2003, Petrovic 2004, Jubel 2005
Special Surgery Score (Altchek)	1	39	Wick 2001
Imatani Score	2	59	Sadiq 2001, Wick 2001
Deluga Score	1	39	Wick 2001
Tegner Activity Score	2	32	Olsen 1995, Laursen 1999
VAS	3	48	Hoe-Hansen 2003, Mart 3003, Jubel 2005
DASH	2	21	Boyer 1997, Jubel 2005
SF-Score	1	24	O' Connor 2004
Anderson Score	1	25	Helwig 2004
Rabenseifner Score	1	25	Helwig 2004

4.3. Ursachen und Risikofaktoren der Claviculapseudarthrose

Die Gründe für die Entstehung einer Claviculapseudarthrose sind vielfältig aber immer noch nicht klar definiert. Tab. 4-28 listet die prädisponierenden Faktoren zur Entstehung einer Claviculapseudarthrose auf, die in der Literatur genannt werden:

Als wichtigste Ursachen und prädisponierenden Faktoren für die Ausbildung einer Pseudarthrose der Clavicula sind dabei zu nennen: schweres Trauma (Hochenergie-Trauma, Rasantrauma), Polytrauma, Trümmerfraktur, Lokalisation der Fraktur, offene Fraktur, hoher Dislokationsgrad der Fragmente, initiale Verkürzung größer als 2 cm, insuffiziente operative Reposition und Retention, ungenügende Dauer der Immobilisation und Refraktur.

Aber auch Infektionen, Durchblutungsstörungen sowie Weichteilinterpositionen werden häufiger als potentielle Verursachung angeführt. Als ungesicherte Risikofaktoren werden das fortgeschrittene Alter des Patienten und das weibliche Geschlecht genannt.

Bedauerlicherweise geht keine der Studien über die Therapie von Claviculapseudarthrosen konkret an Hand der jeweiligen Patienten-Kasuistiken auf eine mögliche oder definitive Verursachung der Pseudarthrose ein. Stattdessen wird meist pauschal über allgemeine Verursachungsmöglichkeiten hypothetisiert.

Tab. 4-28: Prädisponierende Faktoren zur Entstehung von Claviculapseudarthrosen

Unfall/Verletzung/Vorbedingung

- hohe Gewalteinwirkung (Hochrasanzverletzungen) beim Primärtrauma (Berkheiser 1937, Ghormley 1941, Sakellarides 1961, Galle 1971, Fontaine 1984, Jubel 2005)
- assoziiertes Polytrauma (Galle 1971)
- offene Fraktur (Lipton 1988, Jubel 2005)
- bilaterale Frakturen (Baciu 1966)
- irreponible Fragmentstellung, hohe initiale Distraction oder Verkürzung, Dislokation der Fragmente (Sakellarides 1961, Hagemann 1982, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Hill 1997, Ballmer 1998, Wick 2001)
- Trümmerfraktur (Wilkins 1983, Jupiter 1987)
- lokale Gewebebeschädigung (Neer 1960)
- Weichteilinterposition (Neer 1960, Trillat 1970, Schmitt 1979, Manske 1985, Jubel 2005)
- Ruptur der coracoclaviculären Bänder bei lat. Claviculafrakturen (Neer 1960)
- multiple Voroperationen
- Patientenalter (Sadiq 2001)

Therapie

- inadäquate konservative Behandlung (Rowe 1968, Connolly 1989)
- mangelnder Fragmentkontakt nach konservativer Behandlung (Löffler 1979)
- versäumte initiale operative Behandlung (Chalier 1930, Berkheiser 1937)
- primär operative Therapie (Neer 1960, Rowe 1968, Schauwecker 1975, Schwarz 1986)
- primäre offene Reposition (Sakellarides 1961)
- ungenügende initiale operative Behandlung, instabile primäre Osteosynthese (Löffler 1979)
- inadäquate bzw. ungenügende Reposition und Repositionstechnik (Holland 1982)
- inadäquate interne Fixation (Neer 1960, Röding 1962, Ballmer 1998)
- Entfernung wertvoller Knochenanteile (Neer 1960), exzessive Deperiostierung (Zenni 1981)
- Entfernung von Weichteilgeweben (Neer 1960, Ballmer 1998)
- Durchblutungsstörungen mit Unterbrechung der Blutzirkulation durch z.B. ausgiebige Freilegung der Fraktur mit schweren Ernährungsstörungen des Knochens und Erschöpfung der regenerativen Vorgänge (Friedrich 1973)
- zu frühe Entfernung des Osteosynthese-Materials (Ballmer 1998)
- Refraktur nach Plattenentfernung (Wilkins 1983)
- Infektionen (Neer 1960, Friedrich 1973, Scholze 1973, Löffler 1979)

Immobilisierung

- inadäquate Immobilisierungsdauer (Sakellaridis 1961)
- ungenügende Ruhigstellung nach konservativer Behandlung (Röding 1962, Löffler 1979)
- ungenügende Immobilisierung v.a. des komatösen Patienten (Neer 1960, Jubel 2005)

Traumaintensität

Der Einfluss der Traumaschwere einer Claviculafraktur und assoziierter Verletzungen auf die Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose wird in der Literatur von den Autoren nicht bestritten.

Exemplarisch sind an dieser Stelle die Ergebnisse von White zusammengefasst, die eine statistische Signifikanz hinsichtlich des Zusammenhangs von Traumaschwere und Pseudarthrosenrate ausweisen. Hochenergietraumen resultieren demnach in deutlich höheren Pseudarthrosenraten (White 1989):

Tab. 4-29: Zusammenhang zwischen Traumaintensität und Pseudarthrosraten (White 1989)

	Hoch- energie Gruppe (Anzahl)	Hoch- energie Gruppe (%)	Niedrig- energie Gruppe (Anzahl)	Niedrig- energie Gruppe (%)	Gesamt (Anzahl)	Anteil (%)
Claviculafrakturen	78	56	62	44	140	
1) mit verzögerter Heilung (> 16 Wo)	18	23	7	11	25	18
2) als Claviculapseudarthrosen (> 26 Wo)	10	13	5	8	15	11
1) + 2)	28	36	12	19	40	29
Claviculafrakturen d. mittleren Drittels	69	62	43	38	112	
3) mit verzögerter Heilung (> 16 Wo)	16	23	2	5	18	16
4) als Claviculapseudarthrosen (> 26 Wo)	8	12	1	2	9	8
3) + 4)	24	35	3	7	27	24

Unter den verschiedenen Traumaursachen, nach denen sich eine Claviculapseudarthrose ausbilden kann, finden sich gemäß den Literaturangaben insbesondere schwere Straßenverkehrsunfälle (47%) mit Pkw, Motorrad oder auch Fahrrad, Verletzungen bei Sport- und Freizeitaktivitäten sowie Stürze aller Art und Arbeitsunfälle (Tab. 4-30):

Tab. 4-30: Traumaursachen von Claviculapseudarthrosen (Literatúrauswertung)

Autor	Jahr	Anz.	Verkehrsunfall		Sport		Sturz		Sonstige		
			(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(Ursache)	(%)
Galle	1971	4	1	25,0	1	25,0	2	50,0	0		0,0
Hackenbruch	1982	16	10	62,5	4	25,0	0	0,0	2	Arbeitsunfall	12,5
Manske	1985	10	5	50,0	0	0,0	4	40,0	1	Quetschung	10,0
Eskola	1986	24	3	12,5	12	50,0	9	37,5	0		0,0
Mullaji	1994	6	3	50,0	0	0,0	1	16,7	2	Quetschung, Überfall	33,3
Davids	1996	14	5	35,7	7	50,0	2	14,3	0		0,0
Robinson	1998	48	16	33,3	9	18,8	11	22,9	12		25,0
Laursen	1999	16	9	56,3	3	18,8	1	6,3	3	Arbeitsunfall (2), Gewalt	18,8
Momberger	2000	3	0	0,0	0	0,0	3	100	0		0,0
Sadiq	2001	20	13	65,0	2	10,0	5	25,0	0		0,0
Wick	2001	39	27	69,2	6	15,4	6	15,4	0		0,0
Marti	2003	28	15	53,6	8	28,6	3	10,7	2		7,1
Hoe-Hansen	2003	6	3	50,0	2	33,3	1	16,7	0		0,0
Summe		234	110	47,0	54	23,1	48	20,5	22		9,4

Auch die Auswertung der Studien-Daten bestätigt auf der Basis von 644 Claviculapseudarthrosen die Straßenverkehrsunfälle als häufigste Traumaursachen von Claviculapseudarthrosen mit einem Anteil von sogar 54,2%:

Tab. 4-31: Traumaursachen von Claviculapseudarthrosen (Auswertung von 76 Studien)

Anzahl	Verkehrsunfall		Sport		Sturz		Sonstige	
	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)
644	349	54,2	65	10,1	157	24,4	73	11,3

Differenziert man die Straßenverkehrsunfälle nach den Verkehrsmitteln, die bei Verursachung des Traumas benutzt wurden, so sind darunter vor allem die Pkw-Unfälle mit 45,8% relativ am häufigsten vertreten (Tab. 4-32):

Tab. 4-32: Häufigkeit der Verkehrsmittel bei Verkehrsunfällen als Traumaursache von Claviculapseudarthrosen (Auswertung von 28 Studien)

Anzahl	Pkw		Motorrad		Fahrrad	
	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)
118	54	45,8	29	24,6	35	29,7

Art der Claviculafrakturen und assoziierter Verletzungen

Unter den 624 Patienten mit Claviculapseudarthrosen, bei denen Angaben zur Art der Claviculafraktur und zu Begleitverletzungen gemacht wurden, hatten 44,9% eine deutliche Dislokation der Frakturfragmente bzw. eine erhebliche Verkürzung der Clavicula. Der Anteil polytraumatischer Patienten ergab sich mit immerhin 6,6%.

Tab. 4-33: Art der Claviculafraktur und Komorbidität bei Claviculapseudarthrosen (Auswertung von 69 Studien)

Anzahl Patienten	Dislokation / Verkürzung		Mehrfragment-fraktur		offene Fraktur		Begleit-verletzungen		Polytrauma	
	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)	(abs)	(%)
624	280	44,9	46	7,4	13	2,1	73	11,7	41	6,6

Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der Literatur, in der der Einfluss der Fragmentdislokation bei einer Claviculafraktur auf die Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose von vielen Autoren postuliert wird. Exemplarisch werden deswegen an dieser Stelle die Ergebnisse von Robinson vergleichend gegenübergestellt, die eine statistische Signifikanz hinsichtlich des Zusammenhangs von Fragmentdislokation bei Claviculafrakturen im diaphysären bzw. lateralen Bereich und der Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose ausweisen wird (Robinson 1998). Dislozierte Claviculafrakturen resultieren demnach in deutlich höheren Claviculapseudarthrosenraten.

Tab. 4-34: Vorkommen von verzögerten Heilungen und Claviculapseudarthrosen in Abhängigkeit der Fragmentdislokation (Robinson 1998)

Frakturtyp	Frakturart	Frakturtyp	Frakturart	OR (odds ratio)	CI (confid. interval)
2B	diaphysär, disloziert	2A	diaphysär, nicht-disloziert	18,47	95% (2,51-135,89)
3B	lateral, disloziert	3A	lateral, nicht-disloziert	74,57	95% (9,89-560,48)

Die in der Literatur des Öfteren beschrieben disponierenden Faktoren für eine Claviculapseudarthrose wie z.B. Interposition von Weichteilen bzw. chirurgischem Material, Perfusionsstörungen, Refrakturen u.a. waren in den auswertbaren Studien nicht zu finden und konnten daher keiner statistischen Auswertung unterzogen werden.

Dauer vom Zeitpunkt des initialen Traumas bis zur Therapie der Claviculapseudarthrose

Die Zeitspanne zwischen Primärtrauma und der Therapie der Claviculapseudarthrose spielt nach Ansicht einiger Autoren eine wichtige Rolle für den operativen Erfolg und die Heilungswahrscheinlichkeit der Clavicula. Derzeit gibt es jedoch keine Übereinkunft, was den richtigen Zeitpunkt für eine Operation der Clavicula darstellt, wenn sich Zeichen einer verzögerten Heilung oder einer sich ausbildenden Pseudarthrose erkennen lassen.

Die Zeitspanne vom initialen Trauma der Clavicula bis zur von den Autoren beschriebenen letztendlich durchgeführten operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose variiert von wenigen Monaten bis zu 50 Jahren. Als zeitlicher Mittelwert lässt sich eine Zeitdauer von 23,4 Monaten errechnen (Tab. 4-35):

Tab. 4-35: Durchschnittliche zeitliche Dauer vom initialen Claviculatrauma bis zur (endgültigen) Therapie der Claviculapseudarthrose (in Monaten)

Studien Anzahl	Gesamtmittel (min/max)	Gesamtmin (min/max)	Gesamtmax (min/max)
104	23,4 (2/312)		
	(24/132) ¹⁾		
110		12,5 (1/312)	73,9 (2/600)
		(1/37) ¹⁾	(36/540) ¹⁾

1) (min/max) gilt hier für Studien mit mehr als 5 Patienten

Therapie der Claviculafraktur

Schlüsselbeinfrakturen, die das Risiko einer Claviculapseudarthrose-Entstehung beinhalten, werden hinsichtlich ihrer zu bevorzugenden Therapie mit einer gewissen Unsicherheit mehr denn je kontrovers diskutiert. Dies gilt auch für ihren Einfluss auf das Heilungsergebnis. Tab. 4-36 macht auf Basis *summarischer Datenangaben einiger Autoren in der Literatur* deutlich, dass in der Entstehungsgeschichte von 339 diagnostizierten Claviculapseudarthrosen durchschnittlich 8% keinerlei primäre Therapie der Claviculafraktur erfahren hatten, während konservative als auch operative Therapien zu gleichen Anteilen von durchschnittlich jeweils ca. 46% durchgeführt worden waren. Somit erscheint die konservative Therapie nach diesen Daten eine Rate von Claviculapseudarthrosen zu generieren, die der operativen Therapie ebenbürtig ist.

Die Gesamtauswertung der 1248 Patienten aus den *Studien und Fallberichten* (Tab. 4-37) ergibt mit 70,3% einen deutlich höheren Anteil der konservativen Therapien an den zu Claviculapseudarthrosen führenden initialen Behandlungsformen. Der Anteil der Claviculapseudarthrosen, die aufgrund einer Nichtbehandlung der Claviculafraktur bedingt sind, liegt mit 6,3% vergleichbar mit der Literatúrauswertung. Zu den operativen Therapien wurden nur die primärchirurgischen Eingriffe bei der Versorgung der Claviculafraktur herangezogen, wobei es sich bei mindestens 17 Fällen um ein- oder mehrmalige Wiederholungseingriffe handelte. Darüber hinaus sind zusätzlich mindestens 33 sekundärchirurgische Eingriffe nach konservativer Initialbehandlung unter den 1248 zu Claviculapseudarthrosen führenden Claviculafrakturen zu verzeichnen.

Tab. 4-36: Claviculapseudarthrose - relativer Anteil der Vorbehandlung / Therapieform (Auswertung der Literatur)

Autor	Jahr	Anzahl Pseudarthrosen	ohne Therapie (abs)	ohne Therapie (%)	konserv. Therapie (abs)	konserv. Therapie (%)	operative Therapie (abs)	operative Therapie (%)
Merle d' Aubigné	1958	19	0	0	8	42,1	11	57,9
Poltera	1959	12	0	0,0	8	66,7	4	33,3
Gualtieri	1964	7	0	0,0	1	14,3	6	85,7
Baciu	1966	10	0	0,0	1	10,0	9	90,0
Koch	1971	39	4	10,3	16	41,0	19	48,7
Trillat	1971	28	7	25,0	13	46,4	8	28,6
Blömer	1977	17	0	0,0	6	35,3	11	64,7
Schmitt	1979	14	3	21,4	11	78,6	0	0,0
Blömer	1980	21	0	0,0	11	52,4	10	47,6
Hackenbruch	1982	16	6	37,5	9	56,3	1	6,3
Leitl	1987	31	2	6,5	7	22,6	22	71,0
Connolly	1989	15	0	0,0	14	93,3	1	6,7
Kölliker	1989	28	3	10,7	13	46,4	12	42,9
Köck	1996	6	0	0,0	4	66,7	2	33,3
Robinson	1998	48	0	0,0	10	20,8	38	79,2
Marti	2003	28	2	7,1	24	85,7	2	7,1
Gesamt		339	27	8,0	156	46,0	156	46,0

Tab. 4-37: Claviculapseudarthrose - relativer Anteil der Vorbehandlung (123 Studien)

Anzahl Pseudarthrosen ¹⁾	ohne Therapie (abs)	ohne Therapie (%)	konserv. Therapie (abs)	konserv. Therapie (%)	operative Therapie (abs)	operative Therapie (%)
1248	79	6,3	877	70,3	292	23,4

1) Lokalisation: 1152 mittl. Drittel, 65 lat. Drittel, 7 sternales Drittel, 24 na

Tab. 4-38: Claviculapseudarthrose - relativer Anteil der konservativen Vorbehandlungen (62 Studien)

Anzahl Pseudarthrosen	Rucksackverband (abs)	Rucksackverband (%)	Armschlinge (abs)	Armschlinge (%)	andere (abs)	andere (%)
418	268	64,1	99	23,7	51	12,2

Bei den zu Claviculapseudarthrosen führenden konservativen Behandlungsformen wurde der Rucksackverband mit 64,1% relativ am häufigsten angewendet. Die Applikationsdauer des Rucksackverbands aber auch der Armschlinge variiert in einem weiten Bereich von jeweils 1 bis 24 Wochen.

Tab. 4-39: Claviculapseudarthrose – Dauer der konservativen Vorbehandlung (25 Studien)

Nr.	Autor	Nation	Publ. Jahr	Therapiedauer Rucksack (Wochen)	Therapiedauer Armschlinge (Wochen)
4	Evans RO	UK	2004	2	6
9	Petrovic I	CRO	2004	8-16	
10	Proubasta IR	ESP	2004	6-9	
16	Fuchs M	D	2002	4	
21	Wick M	D	2001	>4	
26	Edwards A	UK	1999		6
28	Laursen MB	DEN	1999	3-24	1-14
29	Proubasta IR	ESP	1999	8	
32	Leupin S	CH	1998	6-8	
34	Orljanski W	AUT	1998	5	
40	Bradbury N	UK	1996		2-6
47	Mullaji AB	USA	1994		6-8
60	Koss SD	USA	1989	6	
65	Jupiter JB	USA	1987	3-20	3-20
76	Bargar WL	USA	1984		2
78	Heim C	CH	1984	4	
80	Wilkins RM	USA	1983	2-16	3-4
90	Pyper JB	N-IRE	1978	6	
97	Tregonning G	NZE	1976	6	
99	Yates DW	UK	1976	3	
104	Steffelaar H	CH	1974	6	
118	Mazzuca CR	I	1969		6
120	Thurnheer W	CH	1969	3-4	
126	Mayer JH	UK	1965	3-4	
135	Sakellarides H	USA	1961	3-18	3

Tab. 4-40: Claviculapseudarthrose - relativer Anteil der primärchirurgischen Vorbehandlungen (46 Studien)

Anzahl	PO (abs)	PO (%)	IM (abs)	IM (%)	andere (abs)	andere (%)
169	44	26,0	61	36,1	64	37,9

Bei 169 der Patienten in 46 Studien wurde die zur Claviculapseudarthrose führende Operationstechnik ausgewiesen (Tab. 4-40). Den Hauptteil mit 37,9% stellen hier ältere Verfahren wie Cerclagen oder Drahtnähte der Claviculafraktur. Aber auch aktuelle Verfahren wie die Plattenosteosynthese und die intramedulläre Fixierung lassen sich unter den chirurgischen Behandlungsformen von Claviculafrakturen finden, die zu einer späteren Claviculapseudarthrose führen. Unter den 61 Verfahren der intramedullären Fixierung sind auch 30 Fixierungen mit Kirschner-Drähten enthalten.

4.4. Therapie der Claviculapseudarthrose

4.4.1. Allgemeines und Therapieoptionen

Die erfolgreiche Behandlung der posttraumatischen Claviculapseudarthrose stellt eine besondere und schwierige Herausforderung für den Unfallchirurgen dar. Geeignete Methoden werden in der Literatur kontrovers dargestellt. Grundsätzlich ergibt die Analyse der Publikationen jedoch, dass asymptomatische und gering symptomatische Claviculapseudarthrosen unbehandelt bleiben oder konservativ behandelt werden können, während bei deutlich symptomatischen Pseudarthrosen die operative Versorgung indiziert ist. Tab. 4-41 zeigt die prinzipiellen Therapieoptionen bei Claviculapseudarthrosen:

Tab. 4-41: Prinzipielle Therapieoptionen bei Claviculapseudarthrose

Therapieform	Indikationen	Häufigkeit	Autoren
unbehandelt	asymptomatisch	selten	Enneking 1999
konservativ	gering symptomatisch	selten	Johnson 1963, Wilkins 1983, Brighton 1987
operativ	symptomatisch	sehr häufig	z.B. Koch 1971, Rabenseifner 1981, Boyer 1997

Die Auswertung der Studien und Fallberichte, bestätigt diese Aussage, da keine der Studien ein konservatives Vorgehen zum Ziel hat, sondern sich auf eine chirurgische Versorgung der Claviculapseudarthrose stützt.

4.4.2. Indikationen und Kontraindikationen zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose

Die meistgenannten Indikationen zur Durchführung der Therapie der Claviculapseudarthrose entsprechen deren häufigsten Symptome: persistierende Schmerzen, Einschränkung der Beweglichkeit, Kraftminderung im Arm, Kompression neurovaskulärer Strukturen und kosmetische Probleme. Die Indikation kann jedoch auch nach radiologischen Kriterien gestellt werden, wenn nach Monaten konservativer Therapie die Heilung ausbleibt und die Frakturrenden abgerundet sowie dehiszent sind (Kölliker 1989, Browner 1992). Umgekehrt ist zu beachten, dass aus dem röntgenologischen Nachweis einer Claviculapseudarthrose allein sich noch *keine* Indikation zur operativen Behandlung ergibt (Hierholzer 1984). In einigen Fällen spielen auch andere individuelle Indikationen, wie z.B. Arbeitsunfähigkeit bei Schwerarbeitern oder Sportunfähigkeit bei Profisportlern eine Rolle.

Leider lassen sich innerhalb der Studien und Fallberichte der operativen Therapie der Claviculapseudarthrose in der Regel keine direkten auf den jeweiligen Fall bezogenen Indikationen identifizieren. Indirekte Hinweise auf die vermutliche OP-Indikation lassen sich ersatzweise aus dem jeweiligen Symptomenbild (s.o.) der Patienten erhalten.

Tab. 4-42 fasst die häufigsten in der Literatur genannten Indikationen zur operativen Therapie einer Claviculapseudarthrose zusammen:

Tab. 4-42: Indikationen zur Osteosynthese bei Claviculapseudarthrose

- Schmerzen (in Ruhe, unter Belastung)
- neurologische Symptome (z.B. periphere Parästhesie, Hypästhesie, Anästhesie)
- vaskuläre Symptome (z.B. Durchblutungsstörungen, Thoracic-outlet-Syndrom)
- Belastungsinstabilität
- Kraftminderung, Muskelschwäche
- reduzierte Beweglichkeit der Schulter
- Kosmetik (v.a. bei Frauen, z.B. Kalluswulst, Verkürzung, Ptosis der Clavicula)
- ausbleibende Heilung nach primärer Osteosynthese
- Arbeitsunfähigkeit (z.B. bei Schwerarbeitern)
- Sportunfähigkeit (z.B. bei Profisportlern)
- Alltagsbelastung

Als *Kontraindikationen* zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose lassen sich aus der Literatur die in Tab. 4-43 genannten Gründe zusammenfassen:

Tab. 4-43: Kontraindikationen zur operativen Therapie einer Claviculapseudarthrose

- schlechter Allgemeinzustand des Patienten
- hohes Alter
- fortgeschrittene Osteoporose
- schlechte Hautverhältnisse
- ablehnender Patientenwunsch

4.4.3. Operative Therapie und Therapieformen der Claviculapseudarthrose

Im Prinzip erfolgt die operative Behandlung der Claviculapseudarthrose nach den gleichen Grundsätzen wie die der frischen Claviculafraktur. Da es sich jedoch oft um unterschiedlich gealterte und meist auf irgendeine Art primärtherapierte Läsionen handelt, ist in der Regel zusätzlich die Handhabung der Primärnarbe, die Entfernung von chirurgischem Material, eine sorgfältige und sparsame Resektion der Fragmentenden, die Entfernung von avitalem Gewebe und oft eine notwendige Rekonstruktion mit autologem Knochenmaterial (Spongiosaplastik) zu berücksichtigen.

Es gibt dazu eine Vielzahl von operativen Therapieformen, die zur Versorgung der Claviculapseudarthrose eingesetzt werden können. Zu den in der Literatur genannten operativen Verfahren gehören (Tab. 4-44):

Tab. 4-44: Operative Verfahren zur Versorgung der Claviculapseudarthrose

<p>Osteosynthesen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Platten • intramedulläre Drahtstifte, Nägel oder Schrauben • interfragmentäre Schraubenfixation • Drahtnaht und Drahtcerclagen • Fixateur externe • Spanimplantation <p>Resektionen (Voll- und Teilresektionen der Clavicula)</p> <p>Ergänzende Verfahren</p> <ul style="list-style-type: none"> • Spongiosaanlagerung • Knochenwachstum-stimulierende Faktoren und Materialien • Physikalische Verfahren (z.B. Ultraschall-, Elektrostimulation)
--

Die verschiedenen chirurgischen Manöver zur Behandlung der Claviculapseudarthrose lassen sich dabei grundsätzlich in zwei Hauptkategorien unterteilen (Simpson 1996):

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • rekonstruktive Verfahren • resektive Verfahren (salvage procedures) |
|--|

Tabn. 4-45 und 4-46 geben einen Überblick über die in den Studien und Fallberichten angewandten chirurgischen Verfahrensgruppen. Tab. 4-46 enthält diesbezüglich die Daten aus dem Zeitraum 1996-2005:

Tab. 4-45: Angewandte operative Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose (Gesamtzeitraum)

Verfahren	Studien (abs) ¹⁾	Pat. (abs)	Pat. (%)
Plattenosteosynthese	71	687	43,8
intramedulläre Fixierung ²⁾	27	159	10,1
Fixateur externe	3	17	1,1
gemischte Verfahren ³⁾	40	654	41,7
Resektionen	6	12	0,8
andere Verfahren ⁴⁾	11	40	2,5
Summe / Mittelwert	158	1.569	100,0

- 1) 158 Studien inkl. 17 Teilstudien
- 2) inkl. Kirschner-Draht-Fixierung
- 3) Studien mit gemischten Verfahren aus den Gruppen Plattenosteosynthesen, intramedullären Fixierungen, Fixateur externe, Resektionen
- 4) Zuggurtungen, reine Knochenspanplastiken, Drahtnähte, usw.

Tab. 4-46: Angewandte operative Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose (1996-2005)

Verfahren	Studien (abs) ¹⁾	Pat. (abs)	Pat. (%)
Plattenosteosynthese	34	374	68,2
intramedulläre Fixierung ²⁾	9	83	15,1
Fixateur externe	1	11	2,0
gemischte Verfahren ³⁾	6	79	14,4
andere Verfahren ⁴⁾	1	1	0,2
Resektionen	0	0	0,0
Summe / Mittelwert	51	548	100,0

1) 51 inkl. 10 Teilstudien

2) inkl. Kirschner-Draht-Fixierung

3) Studien mit Plattenosteosynthesen, intramedullären Fixierungen, Fixateur externe

4) Anwendung von Spanplastik + Schraube (Der Tavitian 2002)

Die Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrose ist mit 43,8% das häufigste innerhalb der ausgewerteten Studien und Fallberichten angewandte Verfahren, wobei ihr Anteil im Zeitraum der letzten 10 Jahre noch weiter zugenommen hat (68,2%). Rechnet man den nicht genau bestimmbar Anteil der Plattenosteosynthesen hinzu, der sich innerhalb der gemischten Verfahren befindet, so ergibt sich näherungsweise ein Anteil der Plattenosteosynthesen von heutzutage über 80%. Intramedulläre Fixationen sind demgegenüber nur mit ca. 10-15% unter den Verfahren vertreten. Der Anteil anderer rekonstruktiver bzw. resektiver Verfahren spielt heute kaum bis keine Rolle mehr.

4.4.3.1. Rekonstruktive Verfahren

4.4.3.1.1. Allgemein

Die rekonstruktiven Verfahren zählen zu den häufigsten, in den letzten Jahren sogar einzigen (vgl. Tab. 4-46) chirurgischen Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose. Ihr vorrangiges therapeutisches Ziel ist dabei die Knochenheilung in anatomischer Position. Definitionsgemäß werden die rekonstruktiven Verfahren mit offener Reposition (*open reduction*) und innerer Fixation (*internal fixation*) im englischsprachigen mit der Abkürzung ORIF bezeichnet (Shackford 2003). Es gibt zahlreiche verschiedene rekonstruktiv-chirurgische Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose vor allem im mittleren Schaftbereich, wobei die Plattenosteosynthesen und die intramedullären Fixierungen mit Nägeln und Schrauben den Hauptanteil stellen.

Mehrere Anforderungen stehen bei der Claviculaosteosynthese bei Claviculapseudarthrose im Vordergrund (Steffelaar 1974, Jones 2000):

- Operativer Zugang
- Anatomische Reposition der Clavicula
- Wiederherstellung der Claviculalänge
- Einwandfreie Stabilität
- Knöcherner Durchbauung

Wesentliche Aspekte bezüglich operativem Zugang, Wiederherstellung der Claviculalänge und Stabilität werden im Diskussions-Teil näher erörtert.

4.4.3.1.2. Plattenosteosynthesen

Allgemeines

Metallplatten zur Osteosynthese bei Claviculapseudarthrosen werden entsprechend der Auswertung der Literatur bzw. den Studien/Fallberichten vor allem in den letzten 10 Jahren mit ca. 80% vergleichsweise häufig eingesetzt. Dies korreliert mit der Empfehlung der Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO), die bei schmerzhaften bzw. störenden Pseudarthrosen der Clavicula zur Verplattung rät (Müller 1992).

Technik der Plattenosteosynthese

Typische Plattenmaterialien zur osteosynthetischen Versorgung der Claviculapseudarthrose, welche innerhalb der Studien und der Literaturlauswertung angetroffen wurden sowie exemplarische Autoren sind in Tab. 4-47 zusammengefasst. Die dazugehörigen Abbildungen finden sich Kap. 2. ‚Material und Methoden‘ dieser Arbeit.

Tab. 4-47: Plattenmaterialien zur Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrosen

Plattentyp	Autor	Jahr	Abb.
DCP (Dynamic Compression Plate)	Petrovic	2004	2-07
LCDC-Platte (Limit. Contact DCP)	Kabak	2004	2-12
Wave Plate (S-förmige DCP)	Marti	2003	2-11
Reko(nstruktions)-Platte	Kloen	2002	2-17
Halbrohr-Platte (STP, Semitubular Plate)	Jupiter	1987	2-25
Drittelrohr-Platte	Hackenbruch	1982	2-26
Balser-Hakenplatte	Hackenbruch	1982	2-55
Meves-Platte (S-förmige Halbrohr-Platte)	Meves	1973	2-27

Tab. 4-48: Studien-Gruppen der Plattenosteosynthesen (PO) zur Therapie der Claviculapseudarthrose

Verfahren	Studien ¹⁾	PO ges.	LCDCP	Reko	DCP	STP	and.
PO einheitlich, mit BG ²⁾	34	270	36	169	36	29	0
PO einheitlich, teilweise mit BG	5	43	0	17	19	7	0
PO einheitlich, ohne BG	7	17	0	1	13	3	0
PO verschiedene, mit BG	19	192	27	68	53	40	4 ³⁾
PO andere, teilweise mit BG	6	48	0	18	29	1	0
Summe	71	570	63	273	150	80	4
rel. Anteil der Platte (%)		100	11,1	47,9	26,3	14,0	0,7

1) 71 Studien inkl. Teilstudien

2) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik)

3) Drittelrohrplatten (Kölliker 1989, Ballmer 1998)

Tab. 4-48 macht deutlich, dass die Studien sehr unterschiedlich angelegt waren. So wurde lediglich bei 46 (= 34+5+7) Studien ein einheitliches Plattenmaterial (z.B. nur Rekonstruktions-Platten) verwendet, wobei diese Studien auch noch weiter bezüglich der Verwendung von Knochenplastik zu differenzieren waren. Hinsichtlich der Häufigkeit der verwendeten Platten-Typen zeigt sich mit 47,9% eine eindeutige Dominanz der Rekonstruktionsplatten vor den DCP mit 26,3% bei der Auswertung der gesamten 71

Studien und Fallberichte zur Therapie der Claviculapseudarthrose durch Plattenosteosynthese. Betrachtet man nur den Anteil der 46 monomodalen Studien (Tab. 4-49), so behandelt die Mehrzahl der Studien (34,8%) die Verwendung der DCP und 26,1% die der Rekonstruktionsplatte:

Tab. 4-49: Struktur der Studien der Plattenosteosynthesen mit/ohne Knochenplastik (BG) bezüglich des verwendeten Plattenmaterials

Plattenart	Studien (abs) ¹⁾	Studien (%)	Pat. (abs)	BG ²⁾
LCDCP	7	15,2	36	36
Reko	12	26,1	187	138
DCP	16	34,8	69	36
STP	7	15,2	39	26
andere (n.a.)	4	8,7	12	2
Summe / Mittelwert	46	100	343	238

1) 46 Studien inkl. Teilstudien

2) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik), jeweils mindestens verwendet

Betrachtet man die Durchführung der Plattenosteosynthese (PO) bei Claviculapseudarthrose genauer, so können ein typisches chirurgisches Instrumentarium und prinzipielle Operationsschritte dargestellt werden. Tab. 4-50 listet beispielhaft ein derartiges Instrumentarium zur Plattenosteosynthese der Claviculapseudarthrose auf (Hansis 1989), während Tab. 4-51 prinzipielle Schritte des chirurgischen Vorgehens zusammenfasst (Jones 2000):

Tab. 4-50: Typisches Instrumentarium bei PO

- z.B. 3,5 mm-(Rekonstruktions)platte (6-, 7-, 8-Loch)
- 3,5 mm Kortikalisschrauben
- 2,5 mm Bohrer
- 3,5 mm Gewindeschneider
- Repositionszangen
- Distraktor
- verschiedenartige Meißel (z.B. Lexer-Meißel zur Dekortikation, V-Meißel)
- Säge und scharfer Löffel zur Spongiosaentnahme

Tab. 4-51: Prinzipielles chirurg. Vorgehen bei PO

- ausreichende Eröffnung des Situs
- Debridement, Anfrischen, ggf. Teilresektion der Enden der Knochenfragmente
- ggf. Callus-Entfernung
- ggf. Anbringen von Knochenplastik an oder in den Frakturspalt
- Anbringen der Metallplatte superior, anterior oder anteroinferior
- Fixierung der Platte und ggf. des Knochenimplantats mit 6-8 Schrauben
- Drainage und Wundverschluß

Abbn. 4-06 und 4-07 zeigen exemplarisch die röntgenologische Darstellung der Osteosynthese einer Claviculapseudarthrose mithilfe einer 8-Loch-DC-Platte (3,5 mm) und Defektüberbrückung mit Beckenspongiosa (Heim 1991) sowie das diesbezügliche schematische Vorgehen:

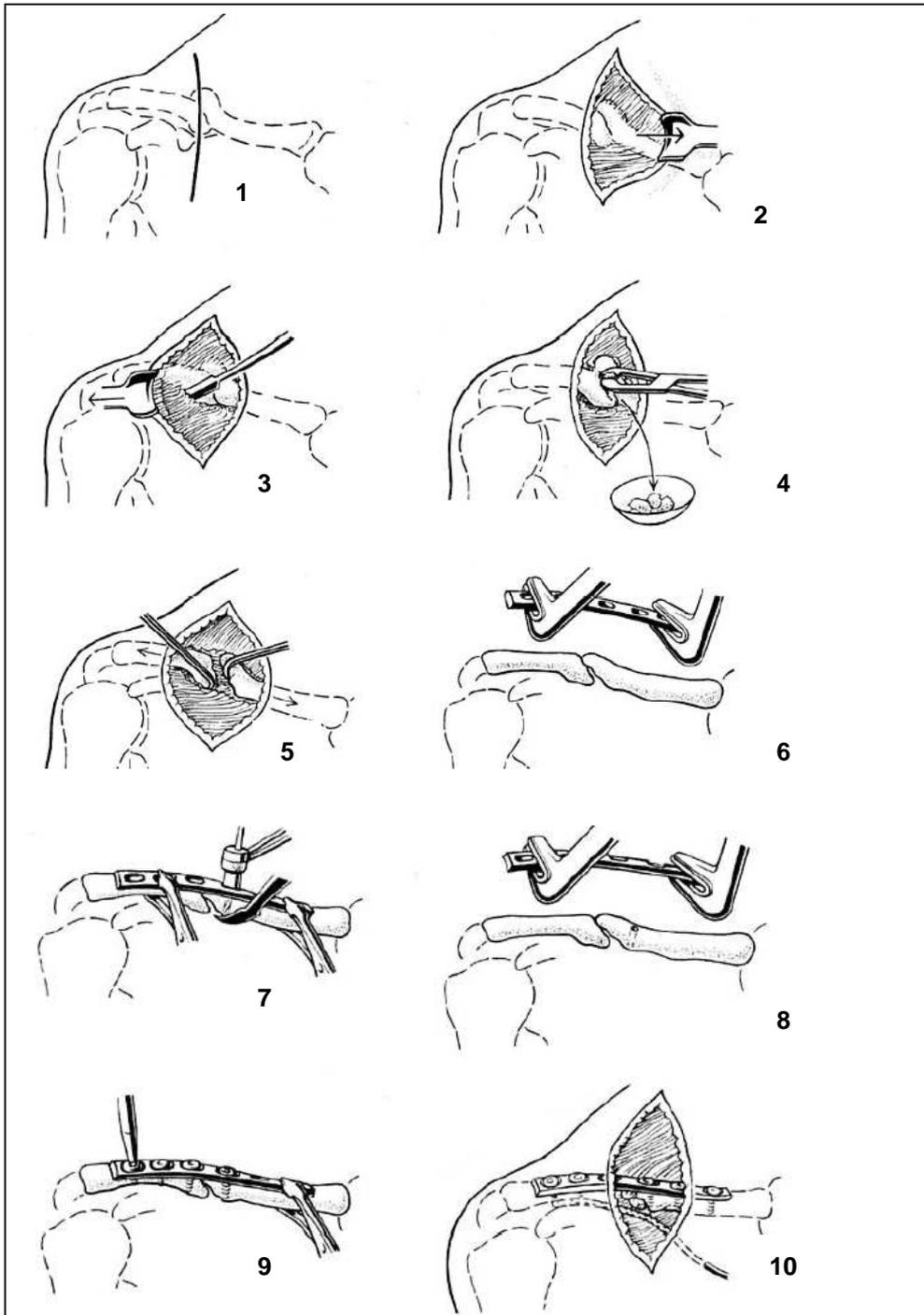
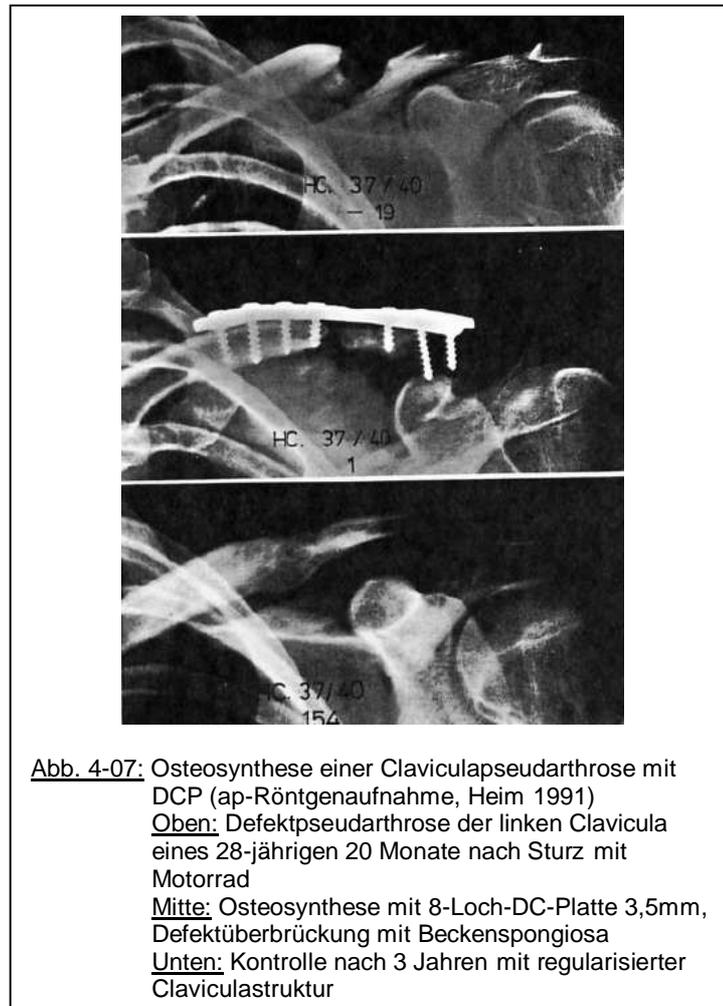


Abb. 4-06: Osteosynthese einer hypertrophischen Claviculapseudarthrose im mittleren Drittel (Schema, Heim 1991):

- 1: Zugang durch Sagittalinzision über der Pseudarthrose
- 2: Alternierende Freilegung der Fragmente durch Hakenzug
- 3: Ablösen der Muskelansätze mit dem Raspatorium
- 4: Entfernung der hypertrophen Kallusmassen, Aufbewahrung des Resektionsmaterials (Kallusbröckel)
- 5: Anheben der Fragmentenden, sorgfältige Präparation der Unterfläche, Reposition und Wiederherstellung der Länge, Kontrolle der Rotation
- 6: Zubiegen einer DC-Platte 3,5 mm
- 7: Provisorisches Anschrauben der Platte an einem Fragment, Feststellung der noch notwendigen Stellungskorrektur am 2. Fragment
- 8: Definitive Korrektur der Plattenkrümmung
- 9: Etappenweises Aufschauben der Platte
- 10: Anlagerung der Kallusbröckel, Redon-Drainage, Muskelnahrt, Hautnaht



Bei der Auswertung der Literatur ergaben sich für die operative Durchführung der Plattenosteosynthese noch folgende weitere Aspekte, die im Diskussions-Teil weiter behandelt werden:

- Tragfähigkeit der Platte und Plattengröße/Anzahl der Löcher
- Kallusabtragung bei hypertrophen Claviculapseudarthrosen
- maximale Clavicula-Teilresektionen
- Spananlagerung bei atrophien- und Defektpseudarthrosen
- iatrogene Läsionen des neurovaskulären Bündels

Vorteile und Nachteile der Plattenosteosynthese

Tabn. 4-52 und 4-53 geben die in der Literatur meistgenannten Vor- und Nachteile der Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrose sowie beispielhafte Autoren wieder:

Tab. 4-52: Allgemeine Vorteile der Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
gute Rotationskontrolle der Pseudarthrose	Jones	2000
Wiederherstellung der normalen Claviculalänge	Jones	2000
frühzeitige postoperative Übungsbehandlungen	Simpson	1996
kurzzeitige stationäre Aufenthalte	Probst	1970

Tab. 4-53: Allgemeine Nachteile der Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
vermehrte Entfernung von periostalem und Weichteilgewebe mit Gefahr der reduzierten Vaskularisation	Nowak	2001
operativ-invasive Entfernung der Platte	Nowak	2001
weite Eröffnung der Operationsstelle	Jones	2000
kosmetisch störende Prominenz der Platte	Jones	2000
Hautirritationen und Blasenbildung durch Prominenz der Platte	Edwards	1999
Behinderung bei Tragen spezieller Lasten (z.B. Rucksäcke)	Edwards	1999
Implantatlockerung	Edwards	1999
Gefahr der iatrogenen intraoperativen Läsionen neurovaskulärer Strukturen	Heim	1991
erhöhtes Refraktur-Risiko nach Plattenentfernung durch die Schraubenlöcher mit ggf. erforderlichen Schutzmaßnahmen	Hansis	1989
kosmetisch störende Narbenbildung	Hackstock	1988

Effizienz der einzelnen Plattentypen zur Osteosynthese der Claviculapseudarthrose

Drittelrohrplatten werden aufgrund ihrer hohen Versagensquote heutzutage nicht mehr eingesetzt (Sadiq 2001). Plattentypen wie die Halbrohr-Platte (STP = Semitubular Plate) bzw. die Meves-Platte (vorgebogene Halbrohr-Platte) und die Balsler-Platte finden eher selten Verwendung, während heutzutage noch teilweise die dynamische Kompressionsplatte (DCP), jedoch immer häufiger die Reko(nstruktions)-Platte und die LCDC-Platte (Limited contact dynamic compression plate) bei der Osteosynthese der Claviculapseudarthrose zum Einsatz kommen. Ihre individuellen und unterschiedlichen Eignungen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt und werden nachfolgend sowie im Diskussions-Teil näher erörtert.

Rekonstruktionsplatte (Reko-Platte)

Die Rekonstruktionsplatte (Abb. 2-17) ist neben der LCDC-Platte die heutzutage am meisten eingesetzte Osteosyntheseplatte bei Claviculapseudarthrose. Neben den bereits genannten allgemeinen Vorteilen der Plattenosteosynthese bietet sie noch weitere Vorzüge, wobei als Nachteil eine tendenziell geringere Festigkeit (Heim 1991) zu bemerken ist:

Tab. 4-54: Spezielle Vorteile der Rekonstruktions-Platte bei Osteosynthesen der Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
weniger raumfordernd als DCP -> gute superiore Positionierung	Davids	1996
weniger Hautirritationen als DCP	Bradbury	1996
in 3 Ebenen verformbar und an die Claviculaform gut anpassbar	Kölliker	1989

Nachstehend sind die Ergebnisse der Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen mit der Rekonstruktionsplatte aus der Literatur (Kölliker 1989) in der Tab. 4-55 wiedergeben:

Tab. 4-55: Ergebnisse mit der Rekonstruktions-Platte bei 143 Fällen aus der Literatur (Kölliker 1989):

Konsolidierungsrate nach <u>einem</u> Eingriff:	94,0 %
Komplikationen gesamt:	13,4 %
• persistierende Pseudarthrose	6,0 %
• Infekte	6,3 %
• Implantatlockerung	2,4 %
• passagere Plexusirritation	1,6 %
• Thrombose der A. subclavia	0,8 %

Die hier ausgewiesene Konsolidierungsrate von 94,0% entspricht gut dem Wert von 97,3%, der als Heilungsrate aus den Studien und Fallberichten ausgewertet werden konnte (vgl. Kap. 4.4.7.2.).

Beim Einsatz der Rekonstruktions-Platte sind verschiedene operative Varianten möglich. Während die meisten Unfallchirurgen die Rekonstruktions-Platte auf die *superiore* Seite der Clavicula anbringen (z.B. Laursen 1999), ist dies auch erfolgreich in *anteroinferiorer* Position mit nachfolgenden Vorteilen möglich (Kloen 2002).

Tab. 4-56: Vorteile der anteroinferioren Anbringung der Rekonstruktions-Platte bei Osteosynthese der Claviculapseudarthrose (Kloen 2002)

- Platte dient als ‚Unterstützungsplattform‘ für die Frakturfragmente
- größere Schraubenlänge möglich -> höhere Haltekraft
- geringere Gefahr der Verletzung neurovaskulärer Strukturen
- Platte wird nicht/weniger als prominent oder schmerzhaft empfunden
- Plattenentfernung meist nicht erforderlich

In einigen Fällen können auch 2 Rekonstruktions-Platten in Form eines ‚*double plating*‘ gleichzeitig verwendet werden, wenn die Plattenlänge einer singulären Platte zur Überdeckung der Claviculapseudarthrose nicht ausreicht bzw. eine exzessive Verbiegung der Platte zur Anpassung an die Clavicula-Kontur erforderlich ist (Sadiq 2001).

LCDC-(limited contact dynamic compression)-Platte:

Die LCDC-(limitedcontact dynamic compression)-Platte (LCDCP) ist neben der Rekonstruktions-Platte das häufigste heutzutage eingesetzte Osteosynthese-Implantat bei der Therapie der Claviculapseudarthrose.

Tabn. 4-57 und 4-58 weisen die von verschiedenen Autoren der LCDC-Platte zugewiesenen Vor- und Nachteile aus:

Tab. 4-57: Spezielle Vorteile der LCDC-Platte bei Osteosynthesen der Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
Vermeidung von Belastungsrissen (<i>stress riser</i>) bei Implantatentfernung -> reduzierte Gefahr der Refraktur	Marti	2003
hohe Gewebeverträglichkeit	Leupin	1998
Plattenentfernung nur in Ausnahmefällen erforderlich	Leupin	1998
positive Ergebnisse auch bei alten recalcitrierten Pseudarthrosen	Ring	1997
strukturierte Unterseite der Platte	Mullaiji	1994
minimale Beeinträchtigung der Vitalität der Clavicula	Mullaiji	1994
Aufrechterhaltung der Blutzufuhr	Mullaiji	1994
gute Stabilität und Flexibilität der Platte	Mullaiji	1994

Tab. 4-58: Spezielle Nachteile der LCDC-Platte bei Osteosynthesen der Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
beträchtliche Dimension des Metallimplantats	Leupin	1998

Die Vorteile der LCDCP im Vergleich zur DCP bei der Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen sind nachfolgend aus einer kürzlich veröffentlichten Publikation von Kabak herausgearbeitet (Tabn. 4-59 und 4-60). In seiner prospektiven, randomisierten Vergleichsstudie an Hand von 33 Patienten mit diaphysären Claviculapseudarthrosen kommt Kabak mittels statistischer Auswertung (SPSS 10.0, independent t-test, Bonferroni post hoc test), die erstmalig als derartige Studie Einschluss- und Ausschlusskriterien ausweist, zu folgenden signifikanten Ergebnissen (Kabak 2004):

Tab. 4-59: Vergleichende Ergebnisse der LCDCP- mit der DCP-Therapie (Kabak 2004):

- Die Knochenheilungszeit bei der LCDCP-Therapie ist signifikant kürzer (9,2 +/- 1,7 Wo) als bei der Verwendung der DCP (11,9 +/- 2,3 Wo)
- Eine Knochenheilung wurde bei der LCDCP in 100% der Fälle gegenüber nur 87,5 % bei der DCP erzielt
- Alle 17 von 17 LCDCP-Patienten konnten ihre früheren Berufe wieder aufnehmen, bei der DCP mußten 2 von 16 Patienten umschulen
- Die mit dem DASH-Score ermittelten funktionellen Ergebnisse waren bei der LCDCP deutlich besser als bei der DCP (siehe Tabelle unten)

Tab. 4-60: Ergebnisse der LCDCP- bzw. DCP-Therapie anhand des DASH-Score (Kabak 2004):

	DCP (n=16)	LCDCP (n=17)	p-Wert
präoperativ	61.4	64.3 +/- 8.8	p > 0.005
3. Monat postoperativ	43.1	29.2	p < 0.001
6. Monat postoperativ	29.8	16.6	p < 0.001
12. Monat postoperativ	17.6	8.7	p < 0.001
> 18. Monat postoperativ	14.8	6.7	p < 0.001

Wave Plate

Zur Optimierung der Plattenosteosynthese bei Claviculapseudarthrosen und seiner Ergebnisse schlägt Marti unlängst vor eine sogenannte ‚Wave Plate‘ (Abbn. 2-11 und 4-08) zu verwenden, also eine modifizierte 3,5 mm-DC-Platte, welche in ihrem mittleren Abschnitt in geeigneter Weise gebogen wird. Die Vorteile bzw. Nachteile der Wave Plate nach Auffassung von Marti sind in Tabn. 4-61 und 4-62 wiedergegeben (Marti 2003):

Tab. 4-61: Spezielle Vorteile der Wave Plate bei Osteosynthesen der Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
Elimination/Reduktion der postoperativen brachialgischen Symptomatik	Marti	2003
lokale Blutversorgung wird an der Pseudarthrosenstelle nicht gestört (<i>‚biological plating‘</i>)	Marti	2003
bessere Einsprossung von Blutgefäßen in das Spongiosaimplantat	Marti	2003
bessere Perfusion des Weichteilgewebes	Marti	2003
reduziertes Risiko eines Ermüdungsbruchs der Platte	Marti	2003
reduzierte störende Kallusbildung	Marti	2003
reduziertes Refraktur-Risiko nach Metallentfernung	Marti	2003

Tab. 4-62: Spezielle Nachteile der Wave Plate bei Osteosynthesen der Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
gehäufte Wundheilungsstörungen	Marti	2003



Abb. 4-08: Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels nach Osteosynthese mit gebogener 3,5mm-DCP (Wave Plate, ap-Röntgenaufnahme, Marti 2003)

4.4.3.1.3. Intramedulläre Fixationen

Allgemeines

Die intramedulläre Fixation der Claviculapseudarthrose mit verschiedenartigen Drähten, Nägeln oder Schrauben stellt nach den plattenosteosynthetischen Verfahren die zweithäufigste Therapieform dar. Besonders in jüngster Zeit scheint ihr Anteil jedoch zuzunehmen und sie eine gleichberechtigte bis überlegene Alternative zu werden (Jubel 2005). Tab. 4-63 definiert die Studien-Untergruppen bei der Auswertung von insgesamt 27 Studien und Fallberichten und differenziert in 8 unterschiedliche Fixationssysteme:

Tab. 4-63: Gruppierung der Studien der intramedullären Fixation (IM, gesamter Zeitraum)

Verfahren	Stu- dien	BG ¹⁾	Pat. ges.	Ki	Ru	St	Kn	Kü	Ha	ESIN	and.
IM einheitlich, mit BG	12	80	84	16	14	15	6	0	21	0	12
IM einheitlich, ohne BG	7	0	34	11	3	0	0	6	0	14	0
IM versch., ohne/mit BG	2	5	12	6	6	0	0	0	0	0	0
IM andere, mit BG	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Summe	23	87	132	34	24	15	6	6	21	14	12
Anteil des IM-Verf. (%)			100	25,8	18,2	11,4	4,5	4,5	15,9	10,6	9,1

- 1) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik) mindestens verwendet;
 Ki = Kirschner-Draht, Ru = Rush-Pin, St = Steinmann-Nagel, Kn = Knowles-Pin, Kü = Küntscher-Nagel,
 Ha = Hagie-Pin, ESIN = elastisch stabiler Nagel, and. = kanülierte Knochenschraube, etc.

23 der insgesamt 27 Studien und Fallberichte enthalten detaillierte Angaben zum jeweiligen Fixationssystem. Darunter befinden sich 19, die jeweils nur *ein* Fixationssystem verwenden, welches ohne oder mit Zuhilfenahme von Knochenplastiken eingebaut wird. Von allen möglichen Fixationssystemen wird bei den 23 Studien im gesamten Auswertungszeitraum der Kirschner-Draht mit 25,8% am häufigsten zur Versorgung einer Claviculapseudarthrose eingesetzt. Dies gilt auch bei Betrachtung von 8 auswertbaren unimodalen Studien der letzten 10 Jahre mit einem Anteil von 33,3% (Tab. 4-64):

Tab. 4-64: Struktur der Studien-Gruppe der unimodalen intramedullären Fixation ohne/mit Knochenplastik (8 Studien, 1996-2005)

Verfahren	Stu- dien	BG ¹⁾	Anz. Pat. ²⁾	Ki	Ru	St	Kn	Kü	Ha	ESIN	and.
IM einheitlich, ohne/mit BG	8	35	63	21	14	0	2	0	0	14	12
Anteil des IM-Verf. (%)			100	33,3	22,2	0,0	3,2	0,0	0,0	22,2	19,0

- 1) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik) mindestens verwendet
 2) Lokalisation der Claviculapseudarthrose bei 63 Pat. im mittlere n Drittel

Aufgrund fehlender Differenzierung zwischen Steinmann-Nagel und Knowles-Pin in der Studie von Wu 1998 (Nr. 35) konnten 20 intramedulläre Fixationen in obiger Tabelle nicht berücksichtigt werden.

Technik der intramedullären Fixation

Es wird die Marknagelung von der Markdrahtbohrung, bei der der Markraum durch Vorbohrung eröffnet wird, unterschieden. Verwendet werden verschiedenartigste gewinde-lose oder gewindetragende Stifte, Nägel und Schrauben. Typische Materialien zur intrame-
 dullären Fixation der Claviculapseudarthrose, welches innerhalb der Studien und der Literaturlauswertung angetroffen wurde sowie exemplarische Autoren sind in Tab. 4-65
 zusammengefasst:

Tab. 4-65: Materialien zur intramedullären Fixation von Claviculapseudarthrosen

Implantat-Typ	Autor	Jahr	Abb.
elastisch-stabiler Nagel (ESIN)	Jubel	2005	2-33
kanülierte Knochenschraube nach Herbert	Proubasta	2004	2-48
intramedulläre Knochenschraube	Hoe-Hansen	2003	2-50
Steinmann-Nagel	Capicotto	1994	2-39
Hagie-Pin	Boehme	1991	2-36
Knowles-Pin	Nevasier	1975	2-28
Rush-Pin	Rush	1957	2-34
Kirschner-Draht	Watson-Jones	1955	2-42
Küntscher-Nagel	Küntscher	1952	2-44

Tab. 4-66 fasst exemplarisch prinzipielle Schritte bei der Durchführung der intramedullären Fixation am Beispiel des Hagie-Pin zusammen, welche auch in Abb. 2-36 schematisch und in Abb. 2-38 radiologisch dargestellt wird (Boehme 1991).

Tab. 4-66: Exemplarisches Vorgehen bei intramedullärer Fixation einer Claviculapseudarthrose (Boehme 1991)

- kleine Hautinzision entlang der Langer-Linie direkt über der Stelle der Claviculapseudarthrose
- Entfernung des fibrösen Materials
- Aufbohrung des intramedullären Kanals
- Vortreiben des Pins von der Pseudarthrose nach lateral in den intramedullären Kanal des distalen Fragments bis zur Perforation der Corticalis
- kleine Hautinzision über dem Pin an der posterolateralen Seite der Schulter zur Ausleitung des Pins
- Zurückschieben des Pins nach medial bis zum Frakturspalt
- Reposition der Claviculapseudarthrose
- Bohrung des Pins über die Stelle der Claviculapseudarthrose in das mediale Claviculafragment
- ggf. Einbringen von autologem Knochenmaterial um die Pseudarthrosenstelle

Bei der Durchsicht der Literatur ergaben sich für die operative Durchführung der intramedullären Fixation der Claviculapseudarthrose noch folgende weitere Aspekte, die im Diskussions-Teil näher behandelt werden:

- gleichzeitige Verwendung von zwei Rush-Pins (Storen 1966)
- heterologe knöcherne Röhre über die Knochenfragmente geschoben zur Überbrückung des Frakturspalts (Schwier 1967)
- gleichzeitige Verwendung von zwei Kirschnerdrähten (Ngarmukos 1998)

Vorteile und Nachteile der intramedullären Fixation

Tabn. 4-67 und 4-68 geben die in der Literatur meistgenannten allgemeinen und speziellen Vor- bzw. Nachteile der intramedullären Fixation bei Claviculapseudarthrose sowie beispielhafte Autoren wider:

Tab. 4-67: Allgemeine und spezielle Vorteile der in tramedullären Fixation bei Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
kein hervortretendes laterales Ende, glatter Kopf (<i>intramedulläre Spongiosaschraube</i>)	Hoe-Hansen	2003
kosmetisch akzeptable Inzision bei Nagelimplantation	Sadiq	2001
geringe Entfernung von Weichteilgewebe erforderlich	Sadiq	2001
einfache, gering-invasive Entfernung des Nagels in Lokalanästhesie	Sadiq	2001
geringe Rate an Refrakturen nach Metall-Entfernung	Jones	2000
Möglichkeit einer horizontalen oder vertikalen Inzision in der Langer-Linie (<i>Herbert-Schraube</i>)	Proubasta	1999
gute stabile Fixierung, da sie einen Druck sowohl vom medialen als auch vom lateralen Fragment aus ermöglicht und die Rotationskräfte in einem Drittel der Clavicula kontrolliert (<i>Herbert-Schraube</i>)	Proubasta	1999
verursacht keine Protrusion unter der Haut und kein Impingement über dem AC-Gelenk (<i>Herbert-Schraube</i>)	Proubasta	1999
bessere Kompression der Frakturstelle, was häufig eine zusätzliche Verwendung von Knochenplastik obsolet macht (<i>Herbert-Schraube</i>)	Proubasta	1999
Implantatentfernung nach eingetretener Knochenheilung obsolet (<i>Herbert-Schraube</i>)	Proubasta	1999
kurzzeitige Ruhigstellung (3 Tage) und frühzeitige Mobilisation (<i>Kirschner-Draht</i>)	Ngarmukos	1998
minimales periostales Stripping erforderlich (<i>Kirschner-Draht</i>)	Ngarmukos	1998
Spongiosaplastik kann um den Fraktursitus herumgepackt werden kann, während die Plattenosteosynthese nur die partielle Anbringung gestattet (<i>Kirschner-Draht</i>)	Ngarmukos	1998
niedrige Komplikationsrate (Nagelmigration seltener als Plattenlockerung bzw. Plattenbruch)	Wu	1998
Implantat mit last-teilender Funktion	Boehme	1991
geringe Implantat-induzierte Osteoporose	Boehme	1991
schnelle und einfache Methode (<i>Küntscher-Nagel</i>)	Niemeier	1990
hohe interfragmentäre Kompression (<i>Küntscher-Nagel</i>)	Niemeier	1990
geringe Knochenläsion wegen fehlender Schraubbohrlöcher (<i>Küntscher-Nagel</i>)	Niemeier	1990
sehr gutes kosmetisches Gesamtergebnis bezüglich Narbenbildung (<i>Küntscher-Nagel</i>)	Niemeier	1990
Gewinde des Nagels (<i>Knowles-Pin</i>) verhindert dessen Migration	Nevasier	1975
Entfernen des Nagels nach Heilung bei <i>Knowles-Pin</i> obsolet	Nevasier	1975
Gewinde des Nagels verkürzt Zeit der externen Immobilisierung	Nevasier	1975
gute Anpassungsfähigkeit des <i>Rush-Pins</i> an die anatomischen Gegebenheiten der Clavicula dank seiner relativ weichen Beschaffenheit	Thurnheer	1969
frühzeitige Übungsbehandlung (<i>Küntscher-Nagel</i>)	Küntscher	1952

Tab. 4-68: Allgemeine und spezielle Nachteile der intramedullären Fixation bei Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
schwierige Insertion des Implantats vor allem bei atrophem Fragmentenden in die S-förmige Clavicula	Sadiq	2001
häufige Protrusion der Nägel unter der Haut	Proubasta	1999
Bursitis am lateralen Ende des Nagels (<i>Steinmann-Nagel</i>)	Capicotto	1994
Erosion des Nagels durch die Haut (<i>Steinmann-Nagel</i>)	Capicotto	1994
unzureichende Fixation gegenüber Rotationskräften (z.B. <i>Hagie-Pin</i>) -> differenziertes postoperatives Behandlungs-Regime erforderlich	Boehme	1991
schmerzhafte Bursa (tender bursa) am lateralen Ende des Nagels -> Nagelexplantation (<i>Hagie-Pin</i>)	Boehme	1991
Verwindung oder Bruch des Nagels, da die intramedulläre Fixierung keine suffiziente Festigkeit in der mobilen Clavicula bewirken kann	Kona	1990
hohe Komplikations- und Pseudarthrosenraten (<i>transacromialer Kirschner-Draht</i>)	Kona	1990
hohe Komplikationsrate	Wilkins	1983
hohe Morbiditätsrate	Tregonning	1976
Gefahr der Clavicula-Sprengung bei Nagelinsertion	Thurnheer	1969
geringere Eignung bei Mehrfragmentfrakturen (freie Fragmente können nicht auf dem Nagel oder Draht ‚aufgefädelt‘ werden, sondern höchstens angelegt werden)	Thurnheer	1969
Lockerungs- und Migrationstendenz (<i>Steinmann-Nagel</i>)	Kremens	1956
schwieriges Einschlagen des Nagels in die spongiosagefüllte Markhöhle der Clavicula	Küntscher	1952
Gefahr des Auseinanderweichens/Dislokation der Fragmentenden bei Insertion des Implantats	Küntscher	1952
Migrationstendenz des Nagels aus der Implantationsposition	Küntscher	1952

4.4.3.1.4. Externe Fixation (Fixateur externe)

Die Osteosynthese der Claviculapseudarthrose durch eine externe Fixation mittels Fixateur externe oder einer suprakutan aufliegenden AO-Platte (Marti 1984, Marti 1991) ist ein selten angewandtes Verfahren und wird nahezu ausschließlich bei septischen Verhältnissen an der Pseudarthrose eingesetzt (Tab. 4-69, Abbn. 2-52 und 2-53). Die Heilungsraten sind vergleichsweise niedrig (Kap. 4.4.7.2.) und die Komplikationsraten eher hoch (Kap. 4.4.7.3.).

Tab. 4-69: Studien und Fallberichte mit externer Fixation der Claviculapseudarthrosen (CP, 4 Studien)

Autor	Jahr	Pat.	CP-Art	Implantat-Typ
Schuind	1988	5	infiziert	Fixateur externe
Marti	1991	1	infiziert	AO-Platte ¹⁾
Köck	1996	1	infiziert	Fixateur externe
Nowak	2001	11	infiz (tw.).	Fixateur externe

1) vgl. Marti 1984: ‚Die Anwendung der AO-Platte als Fixateur externe‘

Vorteile und Nachteile der externen Fixation

Tabn. 4-70 und 4-71 listen die in der Literatur meistgenannten allgemeinen und speziellen Vor- und Nachteile der externen Fixation bei Claviculapseudarthrose sowie beispielhafte Autoren auf:

Tab. 4-70: Allgemeine und spezielle Vorteile der externen Fixation bei Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
einfache, gut verfügbare, patientenfreundliche Technik ohne erforderliches besonderes Equipment (<i>externe AO-Platte</i>)	Marti	1991
ausreichender Stabilität der Konstruktion (<i>externe AO-Platte</i>)	Marti	1991
exzellente Verankerung der Pins in der Corticalis	Schuind	1988
keine Entfernung von Periostanteilen erforderlich	Schuind	1988
nur geringe Devaskularisation der Clavicula	Schuind	1988
gute Stabilisierung der Pseudarthrosenstelle	Schuind	1988
sofortige postoperative Mobilisierung des Schulter- und Armbereichs	Schuind	1988
weitere narkosepflichtige Operation zur Entfernung des Fixateur externe nicht erforderlich	Schuind	1988
besonders vorteilhaft bei infizierten und offenen Pseudarthrosen	Vidal	1980

Tab. 4-71: Allgemeine und spezielle Nachteile der externen Fixation bei Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
relativ geringe Heilungsrate	Nowak	2001
relativ längere Heilungsdauer	Nowak	2001
Beschwerden der Patienten durch behindernden Fixationsrahmen	Nowak	2001
sekundäre Instabilität wegen postoperativer Schraubenlockerung bei Osteitis (<i>externe AO-Platte</i>)	Marti	1991
vereinzelt Wundheilungsstörungen (oberflächl. Hautinfektion am Pin)	Schuind	1988

4.4.3.1.5. Weitere Verfahren

Nachfolgend sind exemplarisch einige weitere Verfahren zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose aufgeführt, die vor allem bis zur Mitte des letzten Jahrhunderts durchgeführt wurden und heutzutage von den modernen Methoden der Plattenosteosynthese und intramedullären Fixation abgelöst sind. Ihre Nachteile sind vor allem in der ungenügenden Stabilität begründet. Dennoch berichten auch Autoren der älteren Verfahren über *„sehr gute und gute Erfolge, voll befriedigende Resultate, 100%ige Heilung und Symptomfreiheit“*. Tab. 4-72 listet diesbezüglich wesentliche Verfahren und exemplarische Autoren auf:

Tab. 4-72: Ältere Verfahren zur Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen

Verfahren	Autor	Jahr	Heilung
Fixation mit Knochennaht (Silberdraht, Catgut)	Bardenheuer	1886	„gut“
Knochenspan und Naht bzw. Umschlingung mit chromiertem Catgut	Berkheiser	1937	„sehr gut“
Knochenspan doppelt und Schrauben	Basom	1947	„sehr gut“
Umschlingungen (Cerclagen) der Frakturstelle (Draht u.a. Materialien)	Annersten	1948	„voll befried.“
Knochenspan und Schrauben	Mayer	1965	na
Knochenspan (Verschiebeplastik) und Drahtcerclage	Baciu	1966	„gut“
Knochenspan allein	Walcher	1973	„gut“

4.4.3.1.6. Die optimale rekonstruktive Therapie - direkter Vergleich der Verfahren

Die optimale Behandlung der Claviculapseudarthrose ist immer noch nicht definiert (Nevasier 1987, Boehme 1993, Wu 1998). Sowohl die Plattenosteosynthese als auch die intramedulläre Fixation jeweils mit zusätzlicher Knochenplastik und sogar die externe Fixation mit einem Fixateur externe haben ihre Fürsprecher und wurden in der Vergangenheit immer wieder diskutiert (O'Connor 2004). Die Literatur weist jedoch nur wenige direkt vergleichende Studien zur rekonstruktiven Osteosynthese der Claviculapseudarthrose aus (Tab. 4-73).

Tab. 4-73: Vergleichsstudien zur Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen

Autor	Jahr	statist. Studie	Pat. ges.	Verfahren 1	Verfahren 2	Verfahren 3	Ergebnis
Kabak	2004	ja	17+16=33	LCDCP	DCP	-	LCDCP > DCP
Si	2004	ja	9+10=19	PO (DCP/STP)	IM (Ki)	-	PO > IM (Ki)
Marti	2003	nein	9+19=28	Wave Plate	DCP/Reko	-	Wave Plate > DCP/Reko
Nowak	2001	ja	13+11=24	PO (Reko)	FE	-	PO (Reko) > FE
Sadiq	2001	ja	5+15=20	Reko dopp.	Reko/DCP	-	Reko dopp. = Reko/DCP
Wu	1998	ja	11+18=29	PO (DCP/STP)	IM (St/Kn)	-	IM > PO
Bradbury	1996	nein	17+15=32	Reko	DCP	-	Reko = DCP
Everke	1969	nein	5+7+11=23	PO (STP)	IM (Ru)	IM (Ki)	PO > Ru > Ki

PO = Plattenosteosynthese, IM = intramedulläre Fixation, FE = Fixateur externe, Ru = Rush-Pin, Ki = Kirschner-Draht; St = Steinmann-Nagel, Kn = Knowles-Pin; > = besser als

Everke sieht bereits 1969 in seiner Betrachtung verschiedener Verfahren die Verplattung nach der AO-Technik gegenüber den intramedullären Fixierungen im Vorteil (Everke 1969). Innerhalb letzterer zieht er die Rush-Pinnung dem Einsatz von Kirschner-Drähten vor:

Tab. 4-74: Operative Ergebnisse bei Pseudarthroseoperation (Everke 1969)

Heilungsergebnis	PO (n=5)	IM Kirschner-Draht (n=11)	IM Rush-Pin (n=7)
gut	4	0	2
befriedigend	1	6	2
schlecht	0	5	3

Eine statistische Studie von Wu (Tab. 4-75) anhand von 29 Patienten mit einer Claviculapseudarthrose des mittleren Claviculadrittels kommt hingegen zum Ergebnis, dass die intramedulläre Nagelung mit einer höheren Heilungsrate und einer niedrigeren Komplikationsrate verbunden ist als die Plattenosteosynthese ($p > 0.05$, Wu 1998).

Tab. 4-75: Vergleich Plattenosteosynthese mit intramedullärer Fixation (Wu 1998)

	PO (n=11)	IM (n=18)	p-Wert
Heilungsrate (%)	81,8 (9 von 11)	88,9 (16 von 18)	0,35
Heilungszeit (Monate)	4,0 +/- 1,3	4,1 +/- 1,1	0,80
Komplikationsrate (%)	27,3 (3 von 11)	11,1 (2 von 18)	0,21

Nowak vergleicht 2001 ebenso auf statistischer Basis (Wilcoxon rank sum test, Fisher's exact test) die Plattenosteosynthese (Rekonstruktions-Platte) mit der Verwendung eines Fixateur externe. In seiner Analyse ist die Plattenosteosynthese im Zusammenspiel mit Knochenimplantat die zu bevorzugende Methode, da sie vergleichsweise höhere Heilungsraten, geringere Knochenheilungszeiten, geringere Symptommhäufigkeit der Patienten und höheren Patientenkomfort aufweist (Nowak 2001).

In einer weiteren aktuellen statistisch unterlegten Studie von Si (Si 2004) ergibt sich die Plattenosteosynthese gegenüber der Kirschnerdraht-Fixierung als die signifikant bessere Methode zur Therapie der Claviculapseudarthrose (Tab. 4-76):

Tab. 4-76: Vergleich Plattenosteosynthese mit Kirschnerdraht-Fixierung (Si 2004)

Ergebnis ¹⁾	PO (n=9)	PO (in %)	IM (n=10)	IM (in %)
sehr gut	7	78	3	30
gut	1	11	3	30
befriedigend	1	11	3	30
unbefriedigend	0	-	1	10

4.4.3.2. Salvage procedures (Resektive Verfahren)

Neben den häufigeren rekonstruktiven operativen Verfahren sind auch die selteneren sogenannten Salvage procedures (Resektive Verfahren) als operative Therapieformen der Claviculapseudarthrose in der älteren aber auch vereinzelt in der jüngeren Literatur beschrieben. Bei den Salvage procedures steht die Reduktion von Symptomen und Formabweichungen im Vordergrund ohne eine Knochenheilung als primäres Ziel anzustreben. Derartige Verfahren umfassen die Exzision von Knochenvorsprüngen, die partielle oder totale Resektion der Clavicula sowie die Resektion der ersten Rippe. Über diesbezüglich hohe Erfolgsraten bei der Therapie der Claviculapseudarthrose berichten zahlreiche Autoren (Calcagni 1964, Bargar 1984, Kay 1986, Connolly 1986, Wood 1986, Middleton 1995). Mögliche Vorteile und Indikationen bzw. Nachteile und Kontraindikationen zur Resektion und Teilresektion bei Claviculapseudarthrose und diesbezügliche Autoren geben Tabn. 4-77 und 4-78 wieder:

Tab. 4-77: Vorteile und Indikationen bei resektiven Verfahren der Claviculapseudarthrose

Vorteile	Autor	Jahr
bei lateralen Claviculapseudarthrosen mit kleinem äußeren Clavicula - Fragment	Simpson	1996
wesentliche schnellere (bereits nach 10 Tagen) Aufnahme z.B. sportlicher Aktivitäten bei Profisportlern in uneingeschränkter Funktion als nach irgendeiner anderen operativen Claviculapseudarthrose-Versorgung, die in der Regel zu einer monatelangen Pause zwingt	Middleton	1995
bei dislozierter Claviculapseudarthrose des lateralen Drittels mit gleichzeitigem Riss der coracoclaviculären Bänder	Connolly	1989
bei pseudarthrotischem Trümmerbruch mit ‚unpraktischer‘ oder ‚unmöglicher‘ Rekonstruktionsmöglichkeit	Howard	1965
zur ‚Behebung‘ von Defektpseudarthrosen	Ewerwahn	1963
bei neuralen oder vaskulären Symptomen	Neer	1960
zur Therapie des Thoracic-outlet-Syndroms	Abott	1954
‚raumschaffendes Verfahren‘	Eliason	1928

Tab. 4-78: Nachteile und Kontraindikationen bei resektiven Verfahren der Claviculapseudarthrose

Nachteile	Autor	Jahr
ergibt unbefriedigendes Erscheinungsbild der Schulter silhouette	Boyer	1997
Claviculektomie nicht indiziert, wenn der M. trapezius beschädigt oder gelähmt ist -> sehr schlechte funktionelle Ergebnisse	Wood	1986
kann zu Instabilität des Schultergürtels führen	Echtermeyer	1984
restitutio ad integrum kann nicht erreicht werden	Thompson	1977
Resektion des lateralen Claviculadrittels kann zur Instabilität des verbleibenden Fragments führen	Abbott	1954
Schmerz und Heilung in Fehlstellung als übliche Folgen einer Fraktur exzision	Elkin	1946

Vor- und Nachteile der Salvage procedures werden im Diskussions-Teil noch weiter erörtert.

4.4.3.3. Die Therapie der lateralen Claviculapseudarthrose

Tabn. 4-79a und 4-79b stellen die Auswertung der Studien und Fallberichte zu den lateralen Claviculapseudarthrosen dar. Insgesamt wurden in 36 Studien (inkl. Teilstudien) Angaben über laterale Claviculapseudarthrosen gefunden. Lediglich in 11 Studien mit insgesamt 60 Patienten konnten diese jedoch von Angaben zu den Claviculapseudarthrosen des mittleren Drittels abgetrennt werden. Vollständige Parametersätze waren nicht in allen 11 Studien vorhanden, so dass sich Aspekt-spezifisch eine jeweils kleinere Anzahl (5 bis 9) von auswertbaren Studien ergibt:

Tab. 4-79a: Studien und Fallberichte zu lateralen Claviculapseudarthrosen

	Ges.	Geschlecht (m/w)	durchschn. Alter (min/mitt/max)	Körperseite (re/li)	Trophik (atroph/hypert.)	Traumaart (VU/Sturz/Sport)
		23/6	31,1/40,9/48,4	15/10	12/20	10/10/2
Anzahl Pat	60	29	25	25	32	22
Anzahl Studien	11	9	8	8	5	7

Tab. 4-79b: Studien und Fallberichte zu lateralen Claviculapseudarthrosen

	Ges.	Vorbehandlung (keine/kons/oper)	Dauer Trauma bis Therapie (Monate)	Therapie (PO/R/div)	Heilungsrate (%)	Follow Up (Monate)
		2/9/1	14,3	1/4/4	95,2	23,8
Anzahl Pat	60	12	24	49	42	24
Anzahl Studien	11	5	6	9	8	6

Publikationen und Studien bezüglich der Versorgung lateraler Claviculapseudarthrosen sind selten. Als mögliche Verfahren werden in der Literatur und innerhalb der Studien Plattenosteosynthesen (Reko, DCP), Cerclagen (Zuggurtungsosteosynthesen), intramedulläre Fixierungen mit Kirschner-Drähten und Resektionen genannt (Tab. 4-80):

Tab. 4-80: Studien und Fallberichte zur Osteosynthese lateraler Claviculapseudarthrosen

Autor	Jahr	Anz. Pat.	Therapie	Heilungsrate (%)
Petrovic I	2004	1	PO	100
Der Tavitian J	2002	8	IM, PO, T	100
Webber M	2000	4	S, C, PO	100
Ebraheim NA	1997	2	PO	100
Lies A	1987	22 v. 24	PO	90,9
Jupiter JB	1987	3	IM, S, R	100
Leitl J	1987	7	R, IM, PO, C	100
Calcagni V	1964	1	R	100
Neer CS	1960	4	PO	100
Ghormley	1941	5	na	na
Berkheiser	1937	1	na	na

IM = intramedulläre Fixation, PO = Plattenosteosynthese, S = Schraube, C = Cerclage, R = Resektion, T = Tension band wire

Erstaunlicherweise wird die Heilungsrate bei der Therapie der lateralen Claviculapseudarthrosen fast immer mit 100% angegeben.

4.4.4. Osteosynthesefördernde Therapien

Obwohl operativ-rekonstruktive Osteosyntheseverfahren wie die Plattenosteosynthese oder die intramedulläre Fixation per se gut geeignete Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose darstellen, sind ergänzende Therapieformen zur Unterstützung der knöchernen Durchbauung entwickelt worden. Sie werden additiv und teilweise auch alleinig eingesetzt. Tab. 4-81 listet prinzipielle osteosynthesefördernde Therapien für die Claviculapseudarthrose und beispielhafte Autoren aus der Literatur auf:

Tab. 4-81: Osteosynthesefördernde Therapien bei Claviculapseudarthrose

Therapieform	Autor	Jahr
Transplantation von vaskularisierter corticoperiostaler Knochenplastik (z.B. aus Fibula oder Femoralcondyle)	Fuchs	2005
Stimulation mit osteogenen Proteinen (z.B. Osteogenes Protein OP-1)	Evans	2004
Stimulation mit niedrig-energetisch gepulstem Ultraschalls (,bw-Intensity pulsed ultrasound')	Nolte	2001
Vermeidung der postoperativen Einnahme von nichtsteroidalen Schmerzmitteln, um Knocheninduktion nicht zu gefährden	Nowak	2001
Implantation von anorganischen Materialien (z.B. zerkleinerter corraliner Hydroxylapatit sowie Zement zur Auskleidung der Schraublöcher)	Ebraheim	1997
elektrische Stimulation mit Gleichstrom	Day	1981
Transplantation von autologer/heterologer Knochenplastik (z.B. Knochenspongiosa und Corticalisspan)	Rowe	1968

Besonders die Verwendung von Knochenplastiken (Bone Graft) als interponiertes oder angelagertes osteogenes Füllmaterial zur Überbrückung des Pseudarthrose-Spaltens wird von vielen Autoren als geeignete Unterstützungsmaßnahme für eine erfolgreiche Heilung der Claviculapseudarthrose angesehen. Tab. 4-82 gibt einen Überblick über die bei den jeweiligen Osteosyntheseverfahren eingesetzten Materialien:

Tab. 4-82: Knochenplastiken und andere Füllmaterialien zur Therapie bei Claviculapseudarthrose

Verfahren	Stud. ¹⁾ mit BG (Anz.)	Pat. ¹⁾ mit BG (%)	Stud. ²⁾ mit BG (Anz.)	Pat. ²⁾ mit BG (%)	Stud. ³⁾ mit BG (Anz.)	Pat. ³⁾ mit BG (%)	Cr. iliaca (Anz. Pat.)	Tibia	Fibula	Costa	Clavicula	Femur	vaskul.	andere	Subst.
PO (ges. Zeitraum)	63	98	57	81	46	65	355	20	5	0	8	1 ⁴⁾	6	1	1 ⁵⁾
<i>PO (1996-2005)</i>	15	100	15	100	15	100	128	0	3	0	1	1 ⁴⁾	4	0	1 ⁵⁾
IM (ges. Zeitraum)	18	83	18	79	18	79	85	1	1	14	1	0	0	0	0
<i>IM (1996-2005)</i>	7	100	7	93	7	93	55	0	0	0	0	0	0	0	0
Fixateur externe	1	29	1	29	1	29	5	0	0	0	0	0	0	0	0
gemischte Verfahren	33	87	27	47	18	28	46	38	2	1	22	0	2	17	1 ⁶⁾
andere Verfahren	9	97	8	65	6	58	0	14	0	2	1	0	0	1	0
Summe ⁷⁾							491	73	8	17	32	1	8	19	2
Anteil BG ⁸⁾ (in %)							76,4	11,4	1,2	2,6	5,0	3,1	1,2	3,0	0,3

1) Studien mit BG-Angabe allgemein

3) Studien mit BG-Angabe lokalisiert und nummeriert

5) Grafton (Kloen 2002)

7) Summe ohne Zeilen 2 und 4

2) Studien mit BG-Angabe lokalisiert

4) vaskul. Femur-Condyle (Fuchs 2005)

6) Osteovit (Petrovic 2004)

8) BG = Bone Graft

Tab. 4-82 verdeutlicht, dass vor allem Knochenplastiken des Beckenkamms bei der Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen herangezogen werden, in vereinzelt Fällen jedoch auch aus anderen Entnahmestellen wie z.B. Tibia, Fibula und Rippen. In jüngerer Zeit werden zunehmend auch vaskularisierte, also mit Blutgefäßen versehene Transplantate aus der Fibula (Wood 1987, Momberger 2000, Erdmann 2004) bzw. aus dem Femurcondylus (Fuchs 2005) mit guten Erfolgen verwendet. Vor- und Nachteile dieser ergänzenden Verfahren werden im Diskussions-Teil weiter thematisch behandelt. Nachfolgend sind die wichtigsten prinzipiellen Techniken der Knochentransplantation bei Claviculapseudarthrose zusammenfassend abgebildet (Abbn. 4.09 bis 4.11):

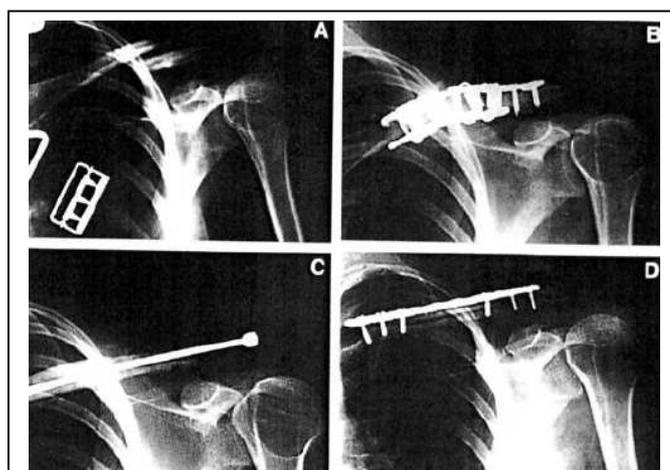


Abb. 4-09: A) Claviculapseudarthrose 4 Monate nach Trauma, B) nach doppelter Plattenosteosynthese mit Spanplastik und Drahtcerclage, C) nach intramedullärer Pin-Fixation mit segmentalem Allograft D) 2 Jahre nach Osteosynthese mit DCP und vaskularisiertem Fibula-Implantat (ap-Röntgenaufnahmen, Momberger 2000)

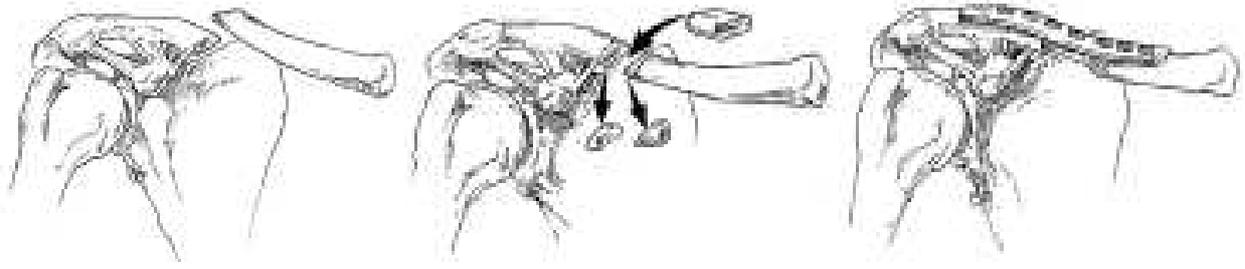


Abb. 4-10: Prinzip der Osteosynthese einer Claviculapseudarthrose durch Plattenosteosynthese und tricorticospongiösem Knochenentransplantat (Schema, Jones 2000)

Links: Freilegung der dislozierten, atrophischen Pseudarthrose

Mitte: Entfernung atrophisch-sklerotischer Fragmentenden und Einpassung des tricorticospongiösen Transplantats

Rechts: Superiore Aufbringung der Platte mit bds. Schrauben in die Fragmente sowie in das Interponat

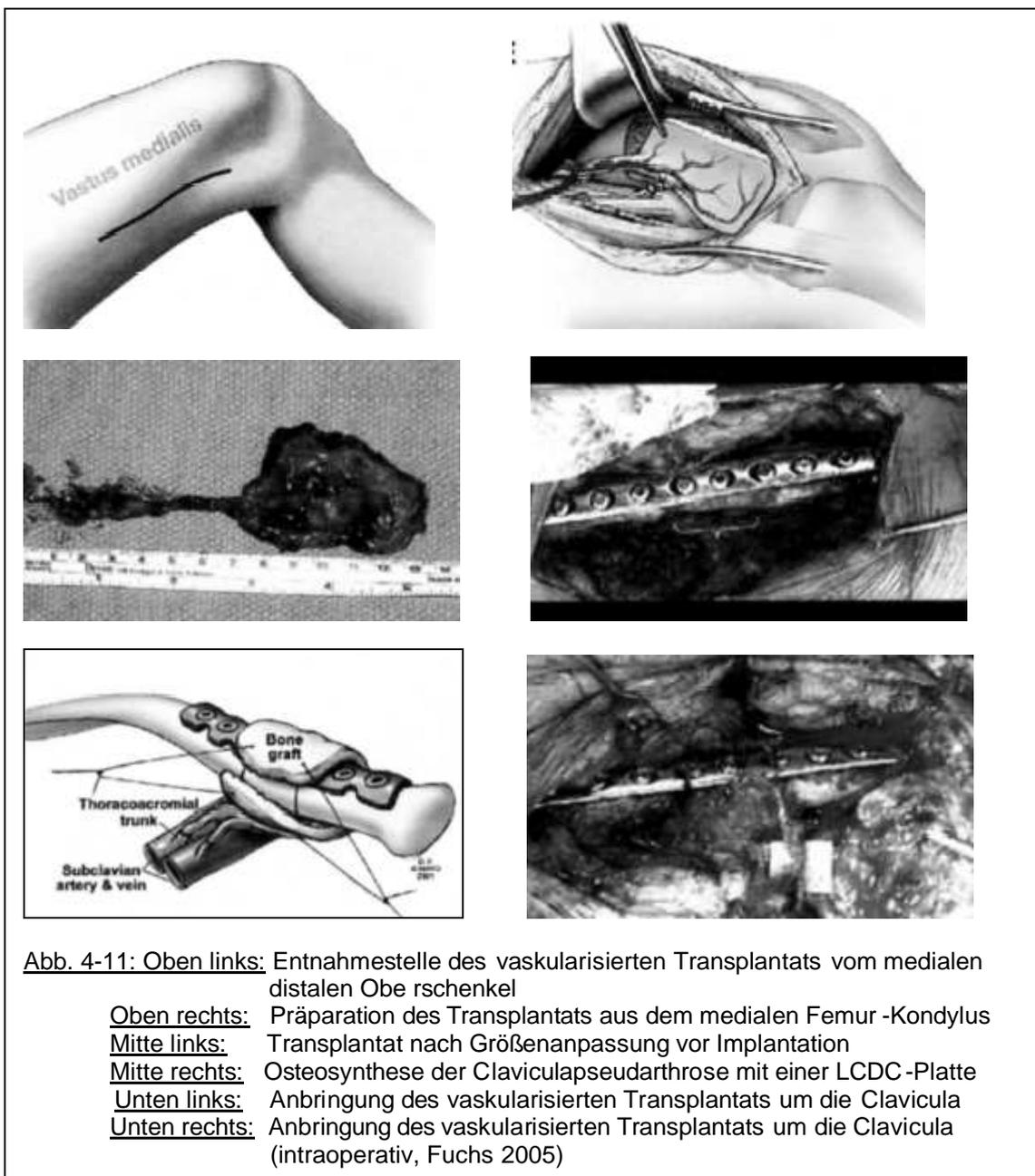


Abb. 4-11: **Oben links:** Entnahmestelle des vaskularisierten Transplantats vom medialen distalen Oberschenkel

Oben rechts: Präparation des Transplantats aus dem medialen Femur-Kondylus

Mitte links: Transplantat nach Größenanpassung vor Implantation

Mitte rechts: Osteosynthese der Claviculapseudarthrose mit einer LCD-Platte

Unten links: Anbringung des vaskularisierten Transplantats um die Clavicula

Unten rechts: Anbringung des vaskularisierten Transplantats um die Clavicula (intraoperativ, Fuchs 2005)

4.4.5. Postoperative Immobilisation

Der postoperativen Immobilisation in Technik und Dauer verbunden mit den geeigneten passiven und aktiven Rehabilitationsübungen sowie der diesbezüglichen Compliance des Patienten muss eine ausschlaggebende Rolle bei der komplikationslosen Heilung der operierten Claviculapseudarthrosen zugewiesen werden. Eine inadäquate Immobilisierung einer osteosynthetisch versorgten Claviculafraktur bzw. Claviculapseudarthrose kann nach Ansicht vieler Autoren jeweils zu einem schlechteren Heilungsergebnis führen (Neer 1968, Jupiter 1987, Craig 1990, Mullaji 1994, Olsen 1995).

Tabn. 4-83a-c geben die postoperativen Immobilisationstechniken und die Immobilisationsdauern für die verschiedenen Therapiegruppen der Claviculapseudarthrose wieder:

Tab. 4-83a: Postoperative Immobilisationstechniken bei Claviculapseudarthrosen

Verfahren	Stud. ¹⁾ mit Immob. (Anz.)	Pat. ¹⁾ mit Immob. (%)	Stud. ²⁾ mit Immob. (Anz.)	Pat. ²⁾ mit Immob. (%)	Armschlinge (Anz. Pat.)	Desault	Gilchrist	Velpeau	Rucksack	Schulterverb.	OA-/Tx-Gips	div.
PO (ges. Zeitraum)	51	81	37	66	300	16	0	0	1	49	22	3
<i>PO (1996-2005)</i>	9	100	9	100	98	0	0	0	0	22	0	0
IM (ges. Zeitraum)	11	84	14	75	70	1	0	10	0	0	6	1
<i>IM (1996-2005)</i>	6	100	6	100	33	0	0	6	0	0	0	0
gemischte Verfahren	22	92	16	74	40	28	39	15	0	22	134	2
andere Verfahren	7	100	7	100	1	0	0	0	9	0	13	5
Resektionen	3	100	3	100	0	1	0	0	1	0	1	0
Summe/Rang	94	81-100	77		411	46	39	25	11	71	176	11
Immob.technik (%)					52	6	5	3	1	9	22	1

1) Immobilisationen mit unbekannter Technik

2) Immobilisationen mit zahlenmäßig bekannter Technik

Demnach wird die überwiegende Mehrheit der operativ versorgten Claviculapseudarthrosen (81-100%) postoperativ immobilisiert. Jedoch weisen auch einigen Autoren sehr gute Heilungsergebnisse aus, deren Patienten mit sofortigen geeigneten Übungsbehandlungen ab dem 1. postoperativen Tag begannen (Tab. 4-83b).

Tab. 4-83a zeigt ferner, dass mit 52% die Armschlinge unter allen Immobilisierungstechniken die am häufigsten angewandte ist. Der Rucksackverband wird dagegen zur Immobilisierung nach Claviculapseudarthrosen-Chirurgie nahezu niemals eingesetzt. Dies gilt auch für Gipsverbände an Schulter, Oberarm und Thorax, deren Verwendung heutzutage nicht mehr üblich ist.

Bezüglich der Zeitdauer der Immobilisation (v.a. mittels Armschlinge) werden Zeiten zwischen 0-10 Wochen genannt. Betrachtet man die mittleren Immobilisationsdauern im Zeitraum der letzten 10 Jahre, so liegen diese bei 2,9-3,2 Wochen, wobei kein wesentlicher Unterschied zwischen den Verfahren der Plattenosteosynthese und den intramedullären Fixationen besteht. Mit passiven Bewegungsübungen wird durchschnittlich nach 0,7-1,9 Wochen begonnen, die dann über ca. 4-5 Wochen durchgeführt werden. Ab der 4.-7. Woche können die meisten Patienten bereits aktiv ihre operierte Schulter und die dazugehörige Extremität bewegen. Eine volle Belastbarkeit soll nach ca. 2,5 Monaten gegeben sein (Tab. 4-83c).

Tab. 4-83b: Studien mit sofortiger Übungsbehandlung nach operativer Therapie der Claviculapseudarthrose

Autor	Jahr	Anz. Pat.	Verfahren	Immobilisation
Jubel	2005	14	IM	sofortiger postoperativer schmerzorientierter Übungsbeginn
Marti	2003	28	PO + BG	keine Immobilisation; sofortige postoperative passive und aktive Mobilisation
Fuchs	2002	1	PO + BG	keine Immobilisation, aber frühfunktionelle Nachbehandlung mit aktiver und passiver Bewegungstherapie bis zur Schmerzgrenze
Nowak	2001	13	PO + BG	4 Phasenplan (je 4-6 Wo): in 1. Phase Arm-Elevaton <90°, ...
Nowak	2001	11	FE	4 Phasenplan (je 4-6 Wo): in 1. Phase Arm-Elevaton <90°, ...
Mullaji	1994	6	PO + BG	frühzeitige Mobilisierung
Hirschmann	1992	1	PO + BG	sofortiger postoperativer Übungsbeginn
Schuind	1988	5	FE	sofortiger postoperativer Übungsbeginn
Hierholzer	1984	38	PO + BG	keine Immobilisation
Weber	1976	17	div (PO + BG, IM)	Immobilisierung mit sofortigem Gebrauch für tägl. Verrichtungen, 6 Wo vorsichtige Übungen
Kehr	1975	16	PO + BG	keine, sofortige freie Bewegung ohne Belastung; im Einzelfall Brustarmgips
Probst	1970	5	PO + BG	keine Immobilisation, nach einigen Tagen KG
Küntscher	1964	1	IM	keine Immobilisation
Sittek	1960	12	div (PO + BG, IM)	nach Wundheilung: sofort intensive Übungsbehandlung (Massagen, Schwimmen, ...)
Küntscher	1952	4	IM	frühzeitige Mobilisation

Tab. 4-83c: Postoperative Immobilisationsdauern bei Claviculapseudarthrosen

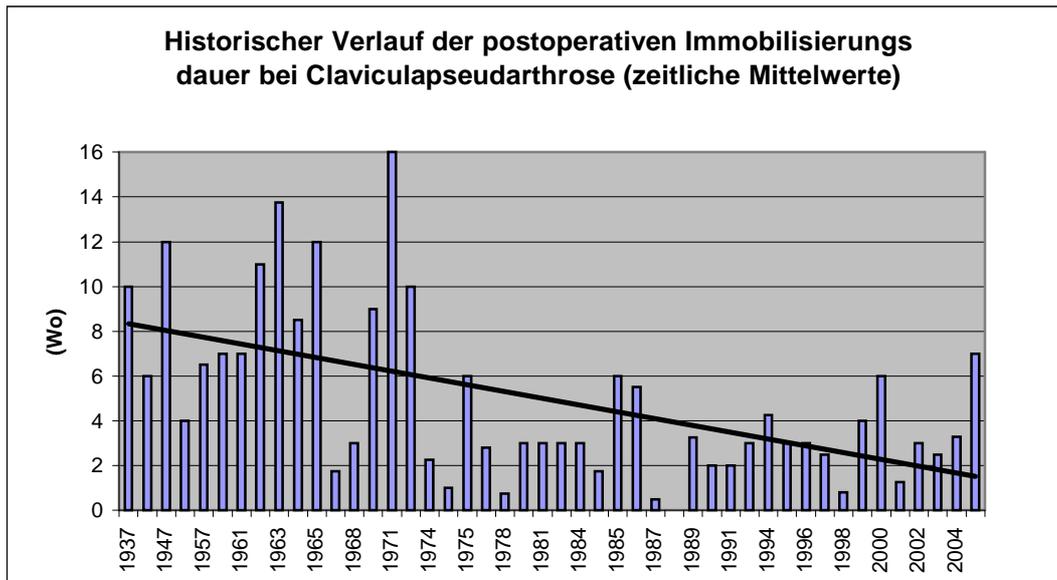
Verfahren	Immobilisierungsdauer (Wo)			passive Übungen ab (Wo)			passive Übungen Dauer (Wo)			aktive Übungen ab (Wo)			volle Aktivitäten nach (Mo)		
	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max
PO (ges. Zeitraum)	30	316	1/3,2/6	7	70	0/1,9/5	9	81	2/4,6/6	7	79	0/3,9/7	11	149	1,5/2,4/3
PO (1996-2005)	7	87	1/2,9/6	3	34	0/0,7/2	4	56	2/4,0/6				5	64	1,8/2,7/3
IM (ges. Zeitraum)	13	83	0,5/3,2/7	5	37	0/1,1/3	4	13	0/5,1/8	2	17	7/7/7			
IM (1996-2005)	6	39	0,5/3,0/5				3	12	3/4,2/6						
gemischte Verfahren	12	239	0/7,6/21							2	43	4/4/4			
andere Verfahren	7	28	4/9,7/15												
Resektionen	2	12	3/5,5/8												
Rang (mitt)			2,9-9,7			0,7-1,9			4,0-5,1			3,9-7			2,4-2,7

n = Anzahl Studien, Anz = Anzahl Patienten mit Claviculapseudarthrose

Aus der Abb. 4-12 wird ersichtlich, dass die Zeitdauern der Ruhigstellung der operativ therapierten Claviculapseudarthrosen deutlich von ca. 20 Wochen auf überwiegend weniger als 1-3 Wochen aufgrund der stabilisierenden Osteosyntheseverfahren gesenkt werden konnten.

Ergänzende Aspekte der postoperativen Immobilisation werden im Diskussions-Teil weiter vertieft.

Abb. 4-12: Entwicklung der Immobilisationsdauern im historischen Verlauf (Mittelwerte)



4.4.6. Implantat-Entfernung

Die Entfernung der Implantate (z.B. Platten, Nägel, Schrauben) nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose wird sehr unterschiedlich in der Literatur von den Autoren beschrieben. Von regelhafter Entfernung des Implantats nach einer vorgegebenen definierten Zeit, über Beschwerden- oder Komplikations-indizierter Entfernung bis hin zu dauerhafter Verweilzeit sind alle Varianten publiziert.

Tabn. 4-84 und 4-85 geben einen Überblick über die Verweilzeiten von Osteosynthese-implantaten bei der Versorgung von Claviculapseudarthrosen.

Tab. 4-84: Verweilzeiten der Implantate bei Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen

Verfahren	n	Metallentfernung (Anteil der Studien n in %)			
		nicht entfernt	teilweise entfernt ¹⁾	vollst. entfernt	vorzeitig entfernt ²⁾
PO (ges. Zeitraum)	38	3	34	63	29
PO (1996-2005)	10	0	70	30	40
IM (ges. Zeitraum)	14	14	29	57	n.a.
IM (1996-2005)	5	20	60	20	n.a.
Fixateur externe	1	0	0	100	0
Summe/Rang	53				

- 1) Studien, bei denen nur bei einigen Patienten das Implantat wieder entfernt wurde
- 2) Studien, bei denen das Implantat aufgrund von z.B. Materialdefekten, Wundheilungsstörungen, Patientenbeschwerden (Schmerzen, Kosmetik) vor dem geplanten Entfernungstermin herausgenommen wurde

Während bei der Plattenosteosynthese bei 63-97% der Studien die Plattenmaterialien vorzeitig oder zum geplanten Zeitpunkt ausgebaut werden, beträgt die Explantations-Rate bei den intramedullären Verfahren nur 20-80%. Der Anteil der vorzeitigen Entfernung liegt nach Verplattung bei 29-40%, während bei der intramedullären Fixation dieser Anteil geringer ist bzw. nur wenige Angaben dazu gemacht wurden.

Tab. 4-85: Verweilzeiten der Implantate bei Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen

Verfahren	min. Verweilzeit (Mo) ¹⁾			mitt. Verweilzeit (Mo) ¹⁾			max. Verweilzeit (Mo) ¹⁾		
	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max	n	Anz	min/mitt/max
PO (ges. Zeitraum)	16	223	3,5/8,0/12	17	244	7/13,7/21	16	208	12/23,6/48
PO (1996-2005)	4	49	6/8,8/12	4	44	9/12,9/15,7	3	33	12/23,7/35
IM (ges. Zeitraum)	3	27	2/3,7/6	7	42	3/4,6/17	2	24	5/8,5/12
IM (1996-2005)	1	11	6/6/6	2	15	12/12/12	2	11	15/15/15
Fixateur externe	1	5	1/1/1	1	5	1/1,7/1	1	5	1/3/1
Rang (mittel)			1-8,8			1,7-13,7			3-23,7

1) Studien mit Patientenzahl > 5

Die Standzeiten der Implantate bewegen sich durchschnittlich im Zeitraum von ca. 1-24 Monaten. Dabei wird zeitlich am ehesten der Fixateur externe nach ca. 1,7 Monaten wieder ausgebaut, während intramedulläre Implantate durchschnittlich nach ca. 4-15 und Metallplatten nach rund 8-24 Monaten entfernt wurden. In Einzelfällen erfolgte die Explantation der Platten erst nach 35-48 Monaten (Hackenbruch 1982, Kölliker 1989, Ballmer 1998, Laursen 1999, Marti 2003) bzw. sind diese - Beschwerdefreiheit vorausgesetzt - als dauerhafte Implantate vorgesehen (Simpson 1996). Implantate, die nicht entfernt werden mussten, beschreiben auch Nevasier 1975, Mullaji 1994, Kloen 2002, Høe-Hansen 2003.

Die Gründe für eine *vorzeitige* postoperative Metallentfernung nach chirurgischer Versorgung der Claviculapseudarthrose sind mannigfaltig, z.B. Lockerung, Wanderung oder Bruch des Implantats, Schmerzen, Hautirritationen und Bursitiden an der Operationsstelle oder kosmetische Mängel.

4.4.7. Ergebnisse operativer Therapien der Claviculapseudarthrose

4.4.7.1. Knochenheilungszeit

Als wesentliches Ziel der Therapie der Claviculapseudarthrose ist die erfolgreiche knöcherne Durchbauung der Frakturstelle anzusehen. Allerdings sind auch hier die Methoden und Kriterien zur Feststellung dieses Zeitpunktes in der Literatur nicht klar definiert und die von den Autoren angegebenen Zeiten der Knochenheilung sehr unterschiedlich (Tab. 4-86):

Tab. 4-86: Knochenheilungszeiten (KHZ,
in Wochen) bei verschiedenen Osteosynthese-Verfahren bei Claviculapseudarthrosen

Verfahren	Anz. Stud. ges.	Anz. Pat. ges.	min. KHZ (Wo)			mitt. KHZ (Wo)			max. KHZ (Wo)		
			n	Pat.	min/mitt/ma ax	n	Pat.	min/mitt/ma x	n	Pat.	min/mitt/ma x
PO gesamt	33	342	17	247	4/9,6/15	23	271	8/13/20	23	267	8/22,3/40
nur PO+BG	18	138	7	89	-/9,6/-	12	101	-/12,5/-	11	99	-/21,8/-
IM gesamt	14	116	4	59	7/10,9/13	10	88	7/12,4/22	8	87	9/24,4/52
Fixateur externe (FE)	1	11	1	11	-/13/-	na	na	na	1	11	-/56/-
gemischte Verfahren ¹⁾	10	152	8	137	6/8,6/17	4	31	9/20,3/43	8	137	12/33,5/77
andere Verfahren ²⁾	4	22	1	8	-/9/-	2	6	9/10/11	2	16	12/12,5/13
Verfahren ges.	62	643			9-13			10-20,3			12,5-56

- 1) Studien mit gemischten operativen Verfahren bestehend aus PO, IM (jeweils mit/ohne Bone Graft)
2) Studien mit operativen Verfahren anders als PO, IM, FE, z.B. Cerclage (Draht, Catgut)+ Bone Graft

Die Knochenheilungszeiten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose bewegen sich - gemäß Auswertung von 62 Studien - im Rahmen von meist ca. 9-34 Wochen, durchschnittlich liegen sie über alle Verfahren bei ca. 10-20 Wochen. Vergleicht man die Standardverfahren (Plattenosteosynthese oder intramedulläre Fixation) zur Therapie der Claviculapseudarthrose, so scheinen sich diese nicht wesentlich auf die Knochenheilungszeiten auszuwirken, die durchschnittlich bei diesen Verfahren 12-13 Wochen betragen. Lediglich unter den älteren Verfahren (gemischte Verfahren) tragen einige (z.B. Cerclagen) zu einem deutlichen Anstieg der mittleren Heilungszeiten bei (Thurnheer 1969). Auch kann der Einsatz eines Fixateur externe in einigen Fällen mit einer langen Heilungsphase verbunden sein (Nowak 2001).

4.4.7.2. Heilungsraten und persistierende Claviculapseudarthrosen

Will man die unterschiedlichen Operationstechniken zur Therapie der Claviculapseudarthrose hinsichtlich ihrer Effizienz vergleichen, so ist zunächst das Heilungsergebnis per se zu betrachten. Bezüglich dieser Auswertung sind die Angaben der Autoren teilweise nicht präzise genug, um zwischen primären Heilungsraten und Heilungsraten nach wiederholten Sekundäreingriffen unterscheiden zu können.

Tab. 4-87 zeigt zunächst die Auswertung der im Jahre 1974 verfügbaren deutschen Operationsergebnisse bei Claviculapseudarthrosen bezüglich der Knochenheilungsrate und dem Anteil von Komplikationen von Schewior (Schewior 1974):

Tab. 4-87: Operationsergebnisse bei Claviculapseudarthrosen aus Deutschland (nach Schewior 1974)

Autor	Jahr	Anz. Pat.	Therapie	Heilungsrate (%)	persistierende Claviculapseudarthrose (%)	Komplikationen (%)
Schewior	1974	11	PO	100,0	0,0	9,1
Galle	1971	3	PO	100,0	0,0	33,3
Kaplan	1970	7	PO, Ru	100,0	0,0	14,3
Probst	1970	7	PO	100,0	0,0	0,0
Everke	1969	18	Ki, Ru	100,0	0,0	44,4
Everke	1969	5	PO	100,0	0,0	0,0
Ewerwahn	1963	3	D,D+Sp	33,3	66,7	100,0
Röding	1962	5	Ki	80,0	20,0	na
Sittek	1960	12	Ki,Ru, S	75,0	25,0	na
Poltera	1959	12	D,Ki,PO,S	66,7	33,3	50,0
Rang		83		33-100	0-67	0-100
MW ungew.		83		85,5	14,5	
MW gew.		83		88,0	12,0	

D = Drahtnaht, Ki = Kirschner-Draht, PO = Platte, Ru = Rush-Pin, S = Schraube, Sp = Spantransplantat

Demnach liegt die Knochenheilungsrate nach operativer Versorgung der Claviculapseudarthrose je nach Verfahren im Bereich von 33-100%, durchschnittlich bei ca. 88%. Der Anteil persistierender Claviculapseudarthrosen beträgt somit für den Zeitraum 1959-1974 im Mittel ca. 12%.

Tab. 4-88 zeigt die summarischen allgemeinen Angaben einzelner Autoren aus der Literatur zu den Heilungsraten der Osteosyntheseverfahren bei Claviculapseudarthrosen:

Tab. 4-88: Heilungsraten bei Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen aus der Literatur

Autor	Jahr	Pat.	Therapie	Heilungsrate (%)
Rüedi	2003	n.a.	div	80-95
Der Tavitian	2002	301	div	92
Momberger	2000	n.a.	div	85-95
Koelliker	1989	n.a.	div	> 90
Rang / MW (ca.)				80-95 / 90

Auch die neueren Literaturangaben (1989-2003) ergeben eine ähnliche mittlere Knochenheilungsrate von ca. 90%, bei einem Schwankungsbereich von 80-95%.

Tab. 4-89 zeigt die Knochenheilungsraten der ausgewerteten weltweiten Studien und Fallberichten zur Osteosynthese der Claviculapseudarthrosen im Gesamtzeitraum:

Tab. 4-89: Heilungsraten bei Claviculapseudarthrosen (Gesamtzeitraum)

Verfahren	Studien ¹⁾	Pat.	Heilungsrate ges. (%) ⁵⁾
Plattenosteosynthese	71	687	96,0
intramedulläre Fixierung ²⁾	27	159	94,9
Fixateur externe	3	17	76,5
gemischte Verfahren ³⁾	40	654	90,1
andere Verfahren ⁴⁾	11	40	87,2
Summe / Rang / MW gew.	152	1.557	76,5-96,0 / 93,2

- 1) 152 Studien inkl. 17 Teilstudien
- 2) inkl. Kirschner-Draht-Fixierung
- 3) Studien mit Plattenosteosynthesen und intramedullären Fixierungen
- 4) Zuggurtungen, reine Knochenspanplastiken, Drahtnähte, usw.
- 5) Gesamtmittelwert für 1.476 Patienten

Betrachtet man die Heilungsraten aller osteosynthetischen Verfahren im Gesamtzeitraum, so liegen diese im Bereich von 76,5-96,0%. Die mittlere Heilungsrate beträgt 93,2%. Der direkte Vergleich der Ergebnisse der Plattenosteosynthesen mit denen der intramedullären Fixationen lässt erstere mit 96,0% im gesamten Betrachtungszeitraum leicht überlegen erscheinen.

Tab. 4-90: Heilungsraten bei Claviculapseudarthrosen (1996-2005)

Verfahren	Studien ¹⁾	Pat.	Heilungsrate ges. (%) ⁵⁾
Plattenosteosynthese	34	374	95,2
intramedulläre Fixierung ²⁾	8	63	95,2
Fixateur externe	1	11	72,7
gemischte Verfahren ³⁾	6	79	96,2
andere Verfahren ⁴⁾	1	1	100
Summe / Rang / MW gew	50	528	72,7-100 / 94,9

- 1) 51 inkl. 10 Teilstudien
- 2) inkl. Kirschner-Draht-Fixierung
- 3) Studien mit Plattenosteosynthesen, intramedullären Fixierungen, Fixateur externe, Resektionen
- 4) Anwendung von Spanplastik + Schraube (Der Tavitian 2002)
- 5) Gesamtmittelwert für 544 Patienten

Die Auswertung der Ergebnisse der letzten 10 Jahre bestätigt die mit durchschnittlich 94,9% insgesamt hohe und noch weiter angestiegene Erfolgsrate der osteosynthetischen Versorgung der Claviculapseudarthrosen, wobei die Ergebnisse der Plattenosteosynthesen mit 95,2% denen der intramedullären Verfahren gleichwertig sind.

Bei der Differenzierung der Plattenosteosynthesen ergibt die Aufgliederung in ausschließlich unimodale Studien mit jeweils nur einer Art von verwendetem Plattenmaterial folgendes Bild (Tab. 4-91):

Tab. 4-91: Heilungsraten bei Plattenosteosynthesen mit/ohne Knochenplastik (BG)

Plattenart	Studien ¹⁾	Pat.	BG ²⁾	Heilungsrate (%) ³⁾
LCDCP	7	36	36	100
Reko	12	187	138	97,3
DCP	16	69	36	97,1
STP	7	39	26	100
andere (n.a.)	4	12	2	100
Summe / Rang / MW	46	343	238	97,1-100 / 97,9

1) 46 Studien inkl. Teilstudien

2) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik), jeweils mindestens verwendet

3) Gesamtheilungsrate: 331/338 Patienten

Die einzelnen mittleren Knochenheilungsraten der nach Plattenmaterial differenzierten Studien liegen im Bereich von 97,1-100% insgesamt sehr hoch, was auch für die Ergebnisse der Halbrohr-Platte (STP) gilt.

Tab. 4-92: Heilungsraten bei intramedullärer Fixation mit/ohne Knochenplastik (BG)

Verfahren	Studien	BG ¹⁾	Pat. ges.	Ki	Ru	St	Kn	Kü	Ha	ESIN	and.	Heilungsrate (%)
IM einheitlich, mit BG	12	80	84	16	14	15	6	0	21	0	12	96,4
IM einheitlich, ohne BG	7	0	34	11	3	0	0	6	0	14	0	93,9
IM versch., ohne/mit BG	2	5	12	6	6	0	0	0	0	0	0	100
IM andere, mit BG	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	100
Summe / Rang / MW	23	87	132	34	24	15	6	6	21	14	12	93,9-100 / 95,9

1) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik) mindestens verwendet;

Ki = Kirschner-Draht, Ru = Rush-Pin, St = Steinmann-Nagel, Kn = Knowles-Pin, Kü = Küntscher-Nagel, Ha = Hagie-Pin, ESIN = elastisch stabiler Nagel, and. = kanülierte Knochenschraube, etc.

Auch bei den Verfahren der intramedullären Fixation liegt nach Differenzierung in verschiedene Studien-Untergruppen die Gesamtheilungsrate bei 93,9-100%, durchschnittlich beträgt sie 95,9%.

Betrachtet man die Heilungsraten bezogen auf das jeweilige intramedulläre Verfahren, so liegen diese im Bereich von 88,9-100%, wobei die Ergebnisse mit dem Kirschner-Draht tendenziell schlechter sind:

Tab. 4-93: Heilungsraten bei intramedullärer Fixation mit/ohne Knochenplastik (BG) bezüglich des verwendeten Osteosynthesematerials (Auswertung von 19 Studien)

	ges.	Ki	Ru	St	Kn	Kü	Ha	ESIN	and.
Anzahl Studien	19	4	2	3	2	3	1	1	3
Anzahl Pat.	87	27	17	15	6	6	2	14	12
Anzahl BG ¹⁾	71	15	14	15	6	0	21	0	8
Heilungsrate (%)	95,0	88,9	94,1	100	100	100	95,2	92,9	100

1) BG = Bone Graft (Spongiosa- oder Spanplastik) mindestens verwendet

Auch im Zeitraum der letzten 10 Jahre ließ sich mit den Methoden der intramedullären Fixation eine Knochenheilungsrate von durchschnittlich 95,2% erzielen:

Tab. 4-94: Knochenheilungsraten bei intramedullärer Fixation (IM, 1996-2005)

Verfahren	Studien	BG ¹⁾	Anz. Pat.	Heilungsrate ges. (%)
IM einheitlich, ohne/mit BG	8	35	63	95,2

1) s.o.

Die Ursachen eines chirurgischen Misserfolgs im Sinne einer persistierenden Claviculapseudarthrose bei der Therapie der Claviculapseudarthrose werden unterschiedlich angegeben. Tab. 4-95 listet wesentliche von den verschiedenen Autoren diskutierte kausale Faktoren für persistierende Claviculapseudarthrosen auf:

Tab. 4-95: mögliche Ursachen für persistierende Claviculapseudarthrosen nach Osteosynthese

(mehrfache) präoperative chirurgische Eingriffe	Olsen 1995, Ebraheim 1997
inadäquate Fixierung	Rowe 1968, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Pedersen 1994
inadäquates Osteosynthesematerial	Leitl 1987, Der Tavitian 2002
Implantat-Versagen	Eskola 1986, Jupiter 1987, Bradbury 1996
atrophische Pseudarthrose	Neer 1968, Bradbury 1996
Infektionen	Weber 1976, Bradbury 1996
osteopenisch vorbelastete Clavicula älterer Patienten v.a. mit atropher Claviculapseudarthrose	Sakellarides 1961, Manske 1985, Jupiter 1987, Capicotto 1994

4.4.7.3. Komplikationen und Komplikationsraten

Über ernsthafte Komplikationen und Rückschläge bei Anwendung verschiedener Therapieverfahren bei Claviculapseudarthrosen wird in der Literatur umfassend berichtet. Tab. 4-96 zeigt häufige Komplikationsarten bei und nach Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen und beispielhafte Autoren:

Tab. 4-96: häufige Komplikationsarten bei und nach Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen

Komplikationsart	Autor	Jahr
Komplikationen an der Entnahmestelle (z.B. Beckenkamm) der Spongiosa- bzw. Spanplastik (z.B. Parästhesien, Infektionen)	Babhulkar	2005
Neurovaskuläre Symptome durch iatrogene Gefäßläsionen durch Schrauben bei Plattenosteosynthese	Shackford	2003
neurogenes TOS	Shackford	2003
Weichteilgewebe-Läsionen	Der Tavitian	2002
Implantat-Probleme	Der Tavitian	2002
Narben-Probleme	Der Tavitian	2002
persistierende Schulterdysfunktion	Bradbury	1996
Refrakturen	Capicotto	1994
persistierende Schmerzen	Wilkins	1983

Tab. 4-97 listet einige allgemeine Angaben einzelner Autoren zu den Komplikationshäufigkeiten der Osteosyntheseverfahren bei Claviculapseudarthrosen:

Tab. 4-97: Komplikationsraten bei Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen aus der Literatur

Komplikationsart	Autor	Jahr	Komplikationsrate (% d. Pat.)
Schmerzen	Bradbury	1996	75
diverse (inkl. fehlender Konsolidation)	Wilkins	1989	52
Schulterdysfunktion	Bradbury	1996	33
Weichteilgewebe-Läsionen	Der Tavitian	2002	15
Implantat-Probleme	Der Tavitian	2002	6
Narben-Probleme	Der Tavitian	2002	2
Rang			2-75

Danach haben bis zu 75% der Patienten postoperative Beschwerden, vor allem Schmerzen aber auch Schulterdysfunktionen im Sinne reduzierter oder abnormer Beweglichkeit des Schultergelenks oder Kraftminderung der Extremität.

Im Rahmen der Auswertung der weltweiten Studien und Fallberichte zur Osteosynthese der Claviculapseudarthrose ergaben sich die in Tabn. 4-98a und 4-98b aufgeführten intra- und postoperativen Komplikationsraten und Komplikationsarten:

Tab. 4-98a: Komplikationsraten und Komplikationsarten bei Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen

Verfahren	Komplikat. ¹⁾ + Beschwerden			Komplikat. ¹⁾			ReOP			Implantat- versagen ²⁾			Weichteil- Komplikat. ³⁾		
	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)
PO (ges. Zeitraum)	66	616	30,7	66	620	10,8	65	611	6,4	63	557	3,9	67	622	6,9
<i>PO (1996-2005)</i>	15	122	24,6	16	144	9,7	15	130	5,4	15	130	3,1	16	144	6,3
IM (ges. Zeitraum)	18	122	42,6	20	121	17,4	10	121	9,1	20	121	4,1	19	116	8,6
<i>IM (1996-2005)</i>	8	70	41,4	7	60	11,7	7	60	8,3	7	60	1,7	7	60	1,7
Fixateur externe	3	17	52,9	3	17	41,2	3	17	11,1	3	17	5,9	3	17	23,5
gemischte Verf.	29	436	37,2	27	416	35,1	18	261	21,5	18	288	6,6	15	222	11,7
andere Verfahren	8	19	42,1	7	18	33,3	7	18	22,2	7	18	16,7	7	18	5,6
Resektionen	6	12	41,7												
Pat. min (%)			24,6			9,7			5,4			1,7			1,7
Pat. max (%)			52,9			41,2			22,2			16,7			23,5

1) intra- und postoperative

2) z.B. Plattenbruch, Plattenlockerung, Nagelmigration

3) z.B. Wundheilungsstörungen, Hämatome, Thrombosen, Infektionen

Fasst man die Raten der intra- und postoperativen Komplikationen sowie die der Beschwerden der Patienten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose zusammen, so liegt diese Gesamtrate im Bereich von 24,6-52,9%. Umgekehrt bedeutet dies, dass weniger als 50% der Operationen einen komplikationslosen Verlauf bei beschwerdefreiem Patienten zum Ergebnis haben.

Unter allen Verfahren ergibt die Plattenosteosynthese mit 24,6-30,7% die geringste Rate an saldierten Komplikationen und Beschwerden. Betrachtet man den alleinigen Anteil der intra- und postoperativen Komplikationen, so sind die Unterschiede zwischen der Plattenosteosynthese und den intramedullären Verfahren in den letzten 10 Jahren mit 9,7% bzw. 11,7% eher gering.

Der Anteil der notwendigen Reoperationen liegt bei den genannten Verfahren bei 5,4-22,2%. Spezielle Komplikationen mit dem Implantat, wie z.B. Plattenlockerung oder Nagelwanderung kommen insgesamt bei 1,7-16,7% der operierten Patienten vor. Hierbei fällt auf, dass die neueren Verfahren der intramedullären Fixation mit 1,7% eine vergleichsweise geringe Rate des Implantat-Versagens haben.

‚Weichteil-Komplikationen‘ im Sinne von Wundheilungsstörungen, Thrombosen, Infektionen, etc. ereignen sich zu 1,7-11,7%, wenn man den Fixateur externe ausklammert. Auch hier ist auf eine relativ geringere Komplikationsrate der intramedullären Techniken in den letzten 10 Jahren hinzuweisen.

Tab. 4-98b weist abschließend einige der häufigsten postoperativen Beschwerden der Patienten nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose aus.

Tab. 4-98b: postoperative Beschwerden nach Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen

Verfahren	Beschwerden			Bewegungseinschränkung			Kraftminderung			Schmerzen / Dysästhesien			Kosmet. Mängel		
	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)	n	Pat.	Pat (%)
PO (ges. Zeitraum)	65	610	26,2	55	363	22,3	3	43	27,9	58	500	18,4	40	389	21,9
<i>PO (1996-2005)</i>	15	122	18,0	14	106	13,2	1	13	38,5	15	122	13,9	13	107	14,0
IM (ges. Zeitraum)	17	91	39,6	16	90	14,4	4	35	42,8	15	89	30,3	6	43	8,8
<i>IM (1996-2005)</i>	6	42	47,6	6	42	19,0	3	22	59,1	6	42	26,2	1	14	0,0
Fixateur externe	2	16	37,5	2	16	25,0	1	11	9,1	2	16	31,3	2	16	37,5
gemischte Verf.	24	356	30,6	21	326	16,9	5	103	14,6	20	314	21,3	5	88	18,2
andere Verfahren	7	18	38,9	7	18	22,2				7	18	16,7	4	15	6,6
Resektionen	6	12	41,7												
Pat. min (%)			18,0			13,2			14,6			13,9			6,6
Pat. max (%)			47,6			25,0			59,1			30,3			37,5

Insgesamt nennen 18,0-47,6% der Patienten eine oder mehrere Beschwerden nach erfolgreicher operativer Versorgung der Claviculapseudarthrose und Konsolidation des Knochens. Die geringste Beschwerde-Rate weisen wiederum die Plattenosteosynthesen mit 18,0-26,2% aus. Vergleichsweise höher mit 39,6% liegt der entsprechende Anteil nach intramedullärer Fixierung, wobei sich die Rate bei diesen Verfahren besonders in den letzten Jahren noch zu erhöhen scheint (47,6%). Dieses Ergebnis wird maßgeblich durch die Studie von Enneking (IM mit Rush-Pin) erklärt, der bei mindestens 11 von 14 Patienten postoperative Beschwerden registriert.

Postoperative Bewegungseinschränkungen werden von 13,2-25% der Patienten angegeben. 14,6-59,1% berichten über einen spürbaren Kraftverlust an der zur Operationsstelle ipsilateralen oberen Extremität. Auch hier zeigt sich ein unerwartet hoher Anteil der Patienten mit Kraftverlust unter den intramedullären Verfahren der letzten 10 Jahre.

Allerdings basieren diese Ergebnisse nur auf 3 Studien.

13,9-30,3% der Patienten klagen über Schmerzen in Ruhe oder bei Bewegung bzw. über Empfindungsstörungen im Sinne von Parästhesien, Hypästhesien oder Wetterfühligkeit. Betrachtet man nur die Ergebnisse der Plattenosteosynthese, so sind hier 81,6-86,1% der Patienten postoperativ ohne Schmerzen.



Abb. 4-13: Clavicula-Kulisse mit erkennbarer subkutaner Plattenlage 2 Jahre nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose (Mombberger 2000)

Die kosmetischen Ergebnisse (vgl. Abb. 4-13) sind erwartungsgemäß deutlich vom gewählten Verfahren abhängig und variieren im Bereich von 6,6-21,9% (ohne Fixateur externe). Die Resultate der Plattenosteosynthese sind dabei mit 14,0-21,9% unbefriedigender als bei den Techniken der intramedullären Fixation, die durchschnittlich nur 8,8% an kosmetischen Problemen aufweisen.

Die Behandlungsergebnisse nach verschiedenen Osteosynthese-Verfahren bei Claviculapseudarthrose sind schwierig zu vergleichen und in der Regel auch unterschiedlich im Hinblick auf die Komplikationsart und die Beschwerdesymptomatik. Zur besseren Vergleichbarkeit haben in der neueren Literatur einige Autoren Bewertungsskalen, wie z.B. den Constant-Murley-Score herangezogen (vgl. Tab. 4.27).

Tab. 4-99 stellt die wenigen Studien dar, die ihre Ergebnisse mithilfe des Constant -Murley-Scores ausgewiesen haben.

Die Heilungsergebnisse der einzelnen Studien und Verfahren können dabei nur schwer miteinander in Beziehung gesetzt werden. Zwar geben alle Autoren einen postoperativen Score der ipsilateralen therapierten Schulter an. Jedoch weist nur Wentz (Wentz 1999) die dazugehörigen notwendigen präoperativen Score-Angaben aus. Betrachtet man das postoperative Ergebnis unabhängig vom Ausgangsbefund, so scheinen die intramedullären Verfahren mit durchschnittlich 92,8 Punkten bessere Gesamtergebnisse als die Plattenosteosynthesen mit 87,7 Punkten zu liefern. Relativierend ist jedoch festzustellen, dass der CS für die gesunde kontralaterale Schulter mit 97 Punkten hier vergleichsweise höher liegt als bei den Patienten der Plattenosteosynthesen mit 94,1.

Tab. 4-99: Constant-Murley-Scores (CS) der verschiedenen Verfahren zur Osteosynthese der Claviculapseudarthrose

Autor	Jahr	Therapie	Pat.	CS präop. ipsilat.	CS postop. ipsilat.	CS postop. contralat.	Diff. CS postop-präop ipsi	Diff. CS postop contra-ipsi
Marti	2003	POdiv + BG	28	na	85,0	93,0	na	8,0
Nowak	2001	PO + BG	13	na	85,6	na	na	na
Wentz	1999	PO + BG	22	79,4	97,4	na	18,0	na
Laursen	1999	PO + BG	16	na	87,0	95,3	na	8,3
Bradbury	1996	POand + BG	17	na	82,0	na	na	na
Bradbury	1996	POand + BG	15	na	87,0	na	na	na
Olsen	1995	PO + BG	16	na	87,9	94,8	na	6,9
			127	na	87,7	94,1	18,0	6,9-8,3
Jubel	2005	IM	14	na	94,0	97,0	na	3,0
Hoe-Hansen	2003	IM + BG	6	na	98,0	98,0	na	0,0
Chu	2002	IM + BG	2	na	88,0	93,0	na	5,0
Enneking	1999	IM + BG	14	na	90,0	97,0	na	7,0
			36	na	92,8	97,0	na	3,0-7,0
Nowak	2001	Fix. ext.	11	na	86,0	na	na	na
Webber	2000	div	4	na	96,0	na	na	na
			15	na	88,7	na	na	na

5. Diskussion

5.1. Bedeutung der Claviculapseudarthrose

Bei der Analyse der Bedeutung der Claviculapseudarthrose stehen nachfolgende Aspekte im Vordergrund:

- der tatsächliche Umfang der Publikationen
- die beträchtliche Anzahl der beschriebenen Fälle
- die unerwartet hohe Häufigkeit des Vorkommens
- die mannigfaltigen kausal nicht eindeutig geklärten Ursachen
- die unklaren, oft kontrovers diskutierten Therapieoptionen
- die persistierenden, oft mit Schmerzen und funktionellen Beschwerden verbundenen Komplikationen für die Patienten vor aber auch nach der Operation der Claviculapseudarthrose
- der Mangel an vergleichbaren statistisch unterlegten Studien

Einzelne aktuelle aber auch historische Berichte kritischer Autoren unterstreichen, dass die Inzidenz der Claviculapseudarthrose nach traumatischer Claviculafraktur und die Probleme der Patienten mit einer Claviculapseudarthrose (z.B. Einschränkungen bei Sport, Arbeit, Teilnahme am Straßenverkehr, Lebensqualität) aber auch die Komplikationen und operative Probleme bislang unterschätzt wurden (Lilienberg 1967, O'Connor 2004).

Publikationen und Studien

Entgegen der überwiegenden Literaturbehauptung z.B. von Parry, dass über das Problem der Claviculapseudarthrose und seiner assoziierten Symptome bislang zu wenig berichtet wurde (Parry 2000), sind tatsächlich zahlreiche Publikationen zu diesem Thema existent. So wird über die Problematik der posttraumatischen Claviculapseudarthrosen seit mehr als über 100 Jahren, meist mehrmals pro Jahr aus vielen verschiedenen Nationen (u.a. USA, Großbritannien, Frankreich, Italien, Deutschland) berichtet. Besonders in den zurückliegenden Jahren hat die Berichtshäufigkeit sogar noch zugenommen. Dies wird bestätigt durch die vorliegende Auswertung von über 530 themenrelevanten weltweiten Publikationen der zurückliegenden 75 Jahre, die 147 Studien und Fallberichte mit mehr als 1800 Patienten mit Claviculapseudarthrose repräsentieren. Weitere mehr als 568 Patienten mit posttraumatischer Claviculapseudarthrose konnten identifiziert, aber aufgrund fehlender näherer Angaben nicht weiter ausgewertet werden.

Die 147 analysierten Studien und Fallberichte stellen sich sehr heterogen dar. Nur wenige Studien sind prospektiv, randomisiert und klinisch kontrolliert, die meisten nur retrospektive Datenerfassungen. Die Größe der Patientenkollektive variiert in einem weiten Bereich von einem bis über 40 Patienten. Sehr unterschiedlich und schwer vergleichbar sind die einzelnen Datensätze der Studien. Oftmals bestehen Lücken bezüglich wesentlicher Angaben und/oder sind Ergebnisse mit unterschiedlicher Definition und Klassifikation der Einzelwerte bzw. Systematik der Darstellung angegeben.

Kaum mehr als 60% der Studien enthalten Angaben über Nachbeobachtungszeiten (Follow-Up), die zusätzlich in einem sehr großen Zeitdauerbereich schwanken. In fast 68% der Studien sind die Nachbeobachtungszeiten von 1 bis 40 Monaten für eine seriöse Verlaufsbeobachtung - in Anbetracht möglicher Spätkomplikationen wie z.B. Refrakturen, Implantatversagen oder Callusbildung mit Kompressionssyndromen - viel zu kurz. In einigen Publikationen ist auch unklar, auf welchen Follow-Up-Zeitpunkt sich entsprechende Heilungsergebnisse, Komplikationen oder Patientenbeschwerden beziehen.

Zeitliche Definition der Claviculapseudarthrose (Nonunion)

Die Angaben aus der Literatur liefern keine eindeutige Aussage über eine einheitliche zeitliche Definition, ab welcher Spanne vom initialen Claviculatrauma bei Nichtheilung von einer Claviculapseudarthrose zu sprechen ist. Seit mehr als 115 Jahren werden die unterschiedlichsten zeitlichen Angaben und bedingende Befunde angegeben.

Hermann Lossen definiert in seiner Inaugural-Dissertation *„Ueber Pseudarthrosen der Clavicula“* im Jahre 1889: *„Sind dagegen seit dem Zustandekommen der Fraktur bereits Monate verflossen und die Consolidation ist noch nicht eingetreten, sind sämtliche Reaktionserscheinungen an der Bruchstelle und damit auch die reparatorische Knochentätigkeit völlig erloschen, ist die Bruchstelle selbst bei Bewegungen und auf Druck völlig unempfindlich, - dann hat man das Recht von einer ‚Pseudarthrose‘ zu sprechen“* und beschreibt Pseudarthrosen als *„die Bildung einer beweglichen Verbindung an einer Stelle des Knochens, wo sie de norma nicht vorhanden sein sollte“* (Lossen 1889).

Johnson aber auch Simpson definieren dann eine Pseudarthrose, wenn der Patient seit mehr als 4 Monaten eindeutige radiologische und/oder klinische Zeichen zeigt (Johnson 1963, Simpson 1996). Nach Nicoll liegt dann eine Pseudarthrose (nonunion) vor, wenn der Chirurg erkennt, dass die Fraktur nach einer Zeitspanne von 6-9 Monaten nicht ohne operativen Eingriff heilen wird. Frakturen, die in einer Zeitspanne von 3-6 Monaten noch nicht geheilt sind, werden mit verzögerter Heilung (delayed union) bezeichnet (Nicoll 1964, Davids 1996, Jones 2000). In Analogie zu den Pseudarthrosen anderer Röhrenknochen wird sie z.B. von Kölliker auf 8 Monate festgelegt (Kölliker 1989). Sadiq und andere Autoren definieren die Claviculapseudarthrose als einen klinisch wie radiologisch nicht vorhandenen Heilungsprozess der Fraktur nach 4-6 Monaten (Neer 1960, Sakellarides 1961, Pyper 1978, Wilkins 1983, Manske 1985, Craig 1990, Simpson 1993, Olsen 1995, Rockwood 1997, Sadiq 2001).

Die Definition von Wu bezeichnet eine Claviculapseudarthrose als Fraktur, die nach 12 Monaten noch keine Knochenheilung oder eine Sklerosierung der Fragmentenden zusammen mit einem Röntgenstrahl-durchlässigen Spalt zeigt (Wu 1998). Ebraheim dagegen hält eine Zeitspanne von nur 3 Monaten für eine Claviculapseudarthrose-Definition ausreichend, wenn eine grobe Dislokation und keine Anzeichen von Callusbildung zu sehen sind (Ebraheim 1997). Im Gegensatz dazu wird durch Zenni bzw. Wu eine erfolgte Knochenheilung (bone union) dann definiert, wenn kein Schmerz oder keine Empfindlichkeit mehr über der Frakturstelle besteht und wenn röntgenologisch das komplette Verschwinden des Frakturspalts oder des festen Callus, der die Frakturfragmente verbindet, festgestellt wird (Zenni 1981, Wu 1998).

Mit einer variablen Zeitspanne von 3 bis 12 Monaten ist die in der Literatur vorhandene zeitliche Definition der Claviculapseudarthrose vollkommen unbefriedigend. Sie überlappt sich mit den Definitionen der verzögerten Heilung und lässt insgesamt präzise Aussagen z.B. hinsichtlich vergleichender Inzidenz oder therapeutischem Ergebnis nur mit einer deutlichen Unschärfe zu.

5.2. Epidemiologie der Claviculapseudarthrose

Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen

Vergleicht man die Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen mit anderen Pseudarthrosen, so liegt deren nicht zu unterschätzender Anteil bei etwa 2-6% aller Pseudarthrosen. Klaer findet in seinem Krankengut einen Anteil der Claviculapseudarthrosen unter allen Pseudarthrosen von 4,5%, Epstein bei 225 operierten Pseudarthrosen von 2,1%, Blumenfeld unter 135 von 3,7%, Stavrache von 3,3%, Broichmann von 4,3%, Müller von 3%, Friedrich von 2,4%, Solheim bzw. Thompson unter den durch Plattenosteosynthese versorgten Pseudarthrosen 2,5% bzw. 3,8% im Bereich der Clavicula (Epstein 1946, Storen 1946, Blumenfeld 1947, Stavrache 1957, Broichmann 1965, Müller 1965, Friedrich 1973, Solheim 1973, Thompson 1976).

Die Literatur ist bezüglich der Rate der Entstehung von Claviculapseudarthrosen bezogen auf die Anzahl der Claviculafrakturen sehr widersprüchlich und kontrovers. Lossen bemerkt 1889, dass *es zu den größten Seltenheiten gehört, dass bei der so außerordentlich häufigen Claviculafraktur die knöchernen Heilung ausbleibt* (Lossen 1889). Eliason konstatiert 1928 sogar: *There need not to be any fear of incomplete union, as this is so rare ... that it may be ignored* (Eliason 1928). Viele Autoren stufen die Claviculapseudarthrose als insgesamt sehr selten oder selten, in der Größenordnung von 1-5% nach erfolgter Claviculafraktur ein (z.B. Neer 1960, Sakellarides 1961, Marsh 1970, Weber 1976, Rabenseifner 1981, Kessel 1982). Höck bezeichnet ihr Auftreten durch die Anwendung von fachgerechten Plattenosteosynthesen fälschlicherweise gar als *Rarität* (Höck 1996).

Demgegenüber sind jedoch auch Publikationen existent, die eine wesentlich höhere Rate der Claviculapseudarthrosenbildung nach Claviculafraktur angeben. So bemerkt Verbrugge im Jahr 1934, dass die Claviculapseudarthrose nicht außergewöhnlich ist: *La pseudarthrose, elle aussi, n'est pas exceptionnelle*, und Annersten folgert in seinem Aufsatz *Ununited Clavicular Fractures*, dass die Claviculafraktur mit größeren Konsequenzen verbunden sein kann als allgemein bekannt ist (Verbrugge 1934, Annersten 1948). *Auch Daubenspeck, Kaiser, Karitzky und Schumann weisen daraufhin, dass Pseudarthrosen der Clavicula häufiger vorkommen als gemeinhin angenommen wird* berichtet Lilienberg und bestätigt in seiner Publikation *Ein Beitrag zum Problem der Claviculapseudarthrosen*, *dass Claviculapseudarthrosen wohl doch in größerer Zahl vorkommen als es der allgemeinen Ansicht entspricht* (Lilienberg 1967). Nach Brighton bzw. Connolly ereignen sich die Claviculapseudarthrosen mit der gleichen Häufigkeit als Pseudarthrosen nach Frakturen anderen Knochen (Brighton 1984, Connolly 1989). White ermittelt in einer retrospektiven Studie an 140 Patienten mit Claviculafrakturen eine Pseudarthrosenrate (delayed union >16 Wochen und nonunion > 26 Wochen) von 28,6% (White 1989).

Betrachtet man die Gesamt-Entstehungsrate der Claviculapseudarthrosen nach traumatischer Claviculafraktur, so liegt diese nach den Angaben der Autoren über ihre eigenen Studien im Bereich von 0 bis 16,7%. Bei Sichtung der Literatur geben einige Autoren jedoch sogar eine maximale Claviculapseudarthrose-Rate von bis zu 40-45% (Löffler 1979, Lindenthal 1980, Hierholzer 1984, Lindenmaier 1991) an.

Damit stellen Claviculapseudarthrosen einen weit höheren Anteil der Komplikationen bei Claviculafrakturen dar, als von den meisten Autoren in der Literatur beschrieben. Betrachtet man die Tatsachen, dass es zahlreiche Patienten mit asymptomatischer Claviculapseudarthrose gibt, die nicht erkannt wird und es auch etliche Patienten mit mild-symptomatischer Claviculapseudarthrose gibt, die klinisch nicht versorgt werden und daher oft nicht registriert werden, so muss die wahre Rate der Claviculapseudarthrosen noch höher angesetzt werden.

Geht man nun auf Basis des Anteils von Claviculapseudarthrosen nach Claviculafrakturen im Bereich von 0-16,7% von z.B. einer angenommenen mittleren Claviculapseudarthrose-rate von ca. 10% aus, so ergibt sich bei einer Jahresinzidenz der Claviculafrakturen von ca. 100 / 100.000 Einwohnern (Unister 2004) eine Jahresinzidenz der Claviculapseudarthrose von 10 / 100.000 Einwohnern. Diese Häufigkeit ist vergleichbar mit Inzidenzen von Erkrankungen wie z.B. dem malignen Melanom, der Zöliakie, der Phenylketonurie, der malignen Hyperthermie oder der Thromboserate von Frauen unter 45. Damit ist die Claviculapseudarthrose nach einschlägiger EU-Definition zwar eine definitionsgemäß relativ seltene Erkrankung (< 5/10.000), in absoluten Zahlen mit ca. 8.000 pro Jahr in Deutschland dennoch ein beachtenswertes Ereignis.

Massart berichtet 1952 über eine Zunahme der Claviculapseudarthrosen aufgrund der häufigeren Osteosynthesen der Claviculafrakturen: ‚*Elles (les pseudarthroses) me semblent devenues plus fréquentes depuis qu'on cherche à mieux traiter la fracture et à la fixer par des ostéosynthèses*‘ (Massart 1952). Auch nach Mazzuca treten Pseudarthrosen der Clavicula häufiger nach offener Reposition als nach inadäquater konservativer Therapie mit insuffizienter oder fehlender Immobilisation auf (Mazzuca 1969). Op den Winkel zitiert das AO-Manual: ‚*Die Operation (der Claviculaschaftfraktur) lässt oft unästhetische Narbenbildungen zurück und Pseudarthrosen sind nach Freilegung der Frakturen nicht selten.*‘ (Op den Winkel 1980).

Nach Hofmann und anderen Autoren wird die Häufigkeit von Claviculapseudarthrosen nach operativem Vorgehen wesentlich höher angegeben als nach konservativem, wobei ein direkter Vergleich der Ergebnisse an operativ und konservativ versorgten Patienten nicht zulässig ist, da es sich vom Verletzungsmuster her um verschiedenartige Kollektive handelt (Arens 1979, Effenberger 1981, Jäger 1984, Hofmann 1988). Köck hingegen glaubt 1996 zu erkennen, dass aufgrund seiner eigenen Literaturlauswertung die Pseudarthroserate der Clavicula bei konservativer Therapie gegenüber der operativen Therapie erhöht ist und nicht umgekehrt, wie nach seiner Meinung häufig in der Literatur angenommen wird (Köck 1996). Hill evaluiert 242 Claviculafrakturen bei Erwachsenen, welche ausschließlich konservativ behandelt wurden. Von den darunter befindlichen ausgewerteten 52 vollständig dislozierten Claviculafrakturen entwickeln nach konservativer Therapie über 15% eine Claviculapseudarthrose (Hill 1997). Auch andere Autoren weisen einen hohen Anteil der Claviculapseudarthrose nach konservativer Therapie (Jubel 2002-1) aber besonders nach operativ versorgten Claviculafrakturen bis zu 15% aus (Schwarz 1986, Ballmer 1998, Kloen 2002).

Hierholzer konnte für die operative Therapie beim Studium der Literatur eine Claviculapseudarthroserate von 7-45% (!!) feststellen, insbesondere bei der Anwendung intramedullärer Fixationsverfahren mit Bohrdrähten, Rush-Pins oder Marknägeln oder Drahtumschlingungen (Hierholzer 1984, Meeder 1988).

Statistische Objektivität bringt eine aktuelle prospektive, beobachtende Kohorten-Studie von Robinson, der bei der Auswertung von 868 Patienten (638 Männer, 230 Frauen, Durchschnittsalter 29,5 Jahre), die eine konservative Versorgung ihrer Claviculafraktur erfahren hatten, eine Rate an Claviculapseudarthrosen von 6,2% ermittelt (Robinson 2004-1). In einer weiteren Studie von 1998 gibt Robinson die Inzidenz von Claviculapseudarthrosen mit 1,4 pro 100.000 Einwohner und Jahr an (Robinson 1998).

Brinker stellt unlängst fest, dass einige Autoren, wie Hill 1997, Robinson 1998 und Wick 2001 mit ihren Studien eine ‚*relativ hohe Rate von Claviculapseudarthrosen bei dislozierten Claviculafrakturen*‘ nach konservativer Therapie angeben und damit die konventionelle

Lehrmeinung der in weiten Bereichen nahezu ausschließlich bevorzugten nicht-operativen Therapie geschlossener Claviculafrakturen in Frage stellen (Brinker 2005).

Die Gesamtauswertung der verfügbaren Literaturangaben hinsichtlich der Differenzierung der mittleren Claviculapseudarthrose-Rate in Abhängigkeit der Therapie der traumatischen Claviculafraktur fällt zu Gunsten der konservativen Therapie (3,2%) gegenüber den operativen Verfahren (5,4%) aus. Bei der Interpretation dieses Unterschiedes ist jedoch stets der potentiell unterschiedliche Schweregrad der zugrundeliegenden Claviculafraktur zu beachten. Bei der Analyse der Claviculapseudarthrose-Rate unter Berücksichtigung der jeweiligen operativen Technik zur Therapie der Claviculafraktur zeigt sich, dass nach Anwendung intramedullärer Verfahren der relative Anteil der Claviculapseudarthrosen mit durchschnittlich 3,9% deutlich niedriger liegt als nach Plattenosteosynthese mit 6,2%.

Laterale Claviculafrakturen scheinen aufgrund der besonderen anatomischen, biomechanischen und funktionellen Verhältnisse und wohl aufgrund der Nähe zum Schultergelenk *relativ* häufiger zu einer Claviculapseudarthrose zu führen als Frakturen des mittleren Claviculadrittels (Jäger 1984). Mehrere Studien belegen, dass die Pseudarthrosenrate lateraler Claviculafrakturen besonders unter *konservativer* Therapie mit bis zu 44% unverhältnismäßig hoch ausfällt (Neer 1963, Jäger 1984, Deafenbaugh 1990, Brunner 1992, Edwards 1992, Krüger-Franke 2000, Der Tavitian 2002, Rokito 2002).

Weit niedrigere, auf die Lokalisation bezogene Claviculapseudarthrosen-Raten weist Nowak in einer prospektiven Studie aus. Unter 133 *mittleren* Claviculafrakturen fanden sich 7 (5%) Pseudarthrosen und unter 50 *lateralen* Claviculafrakturen 2 (4%) Claviculapseudarthrosen. Damit gibt es bei seiner Studie keinen signifikanten Unterschied in der Häufigkeit der Claviculapseudarthrosen bei Claviculafrakturen im mittleren bzw. acromialen Abschnitt (Nowak 2000).

Die Pseudarthrosenrate nach *operativer* Versorgung *lateralen* Claviculafrakturen liegt mit 0-32% vergleichsweise niedriger als bei konservativer Therapie.

Lokalisation der Claviculapseudarthrose

Die Claviculapseudarthrose kann sich an unterschiedlichen Claviculaabschnitten, entsprechend der initialen Frakturlokalisierung, nämlich im medialen (sternalen), mittleren oder lateralen Drittel einstellen.

Der Anteil der Claviculapseudarthrosen liegt bei Frakturen der Clavicula im *mittleren* Drittel, welches am meisten Gegenstand von Verbiegungen und Torsionsspannungen durch die Schulterbewegungen ist, absolut höher als nach Frakturen des *lateralen* Clavicula-Drittels (Neer 1960, Jupiter 1987, Ballmer 1998). Die Claviculapseudarthrose betrifft fast immer das *mittlere* Drittel der Clavicula, besonders wenn eine größere Separation der Fragmente vorliegt (Elkin 1946, Neer 1960, Tregonning 1976, Jablon 1979, Wilkins 1983, Eskola 1986-2, Craig 1990, Thompson 1990, Boehme 1991, Olsen 1995). Boehme findet 80% der Claviculapseudarthrosen bei seinem Krankengut von 50 Patienten und Thompson 90% bei der Durchsicht von 500 Claviculafrakturen im mittleren Claviculadrittels (Thompson 1990, Boehme 1991). Das mittlere Drittel begünstigt die Ausbildung einer Pseudarthrose (Fuchs 2002). Das mittlere (zentrale) Drittel der Clavicula, welches geringes Knochenmark und keine muskuläre Bedeckung wie das mediale bzw. laterale Ende hat, ist die Stelle an der die Claviculapseudarthrose am häufigsten auftritt (Simpson 1996).

Die summarische Literaturlauswertung ergibt, dass mit 75-90% Claviculapseudarthrosen am häufigsten im Bereich des mittleren Claviculadrittels, oft am Übergangsbereich zum lateralen Drittel anzutreffen sind. Pseudarthrosen der Clavicula im lateralen (acromialen)

Drittel werden mit 7-22% genannt, während das mediale (sternale) Drittel mit 0-5% nur selten von einer Pseudarthrose betroffen ist. Die statistische Auswertung der Studien und Fallberichte ergab 91,2% aller Claviculapseudarthrosen im mittleren Abschnitt, 8,2% im lateralen und nur 0,6% im sternalen Drittel.

Geschlechtsverteilung

Mazzuca erkennt in seinem Krankengut (n=21) eine androtrope Verteilung der Claviculapseudarthrosen mit 14 Männern und 7 Frauen (Mazzuca 1969). Auch Leitl findet bei 28 Claviculapseudarthrosen eine leichte Dominanz mit 16 (57%) Männern und 12 (43%) Frauen (Leitl 1987). Unter den 245 Patienten mit Claviculafrakturen entwickeln bei Nowak 6,7% eine Claviculapseudarthrose, wobei Frauen dabei mit 13%, Männer hingegen nur mit 3% vertreten sind (Nowak 2002). Innerhalb der Studien konnten 1046 Patienten mit Claviculapseudarthrose durch ihr Geschlecht identifiziert werden. Es bestätigt sich die androtrope Verteilung mit 639 männlichen (61,1%) und 407 weiblichen Patienten (38,9%).

Altersverteilung

Nowak findet als mittleres Alter der Pseudarthrosenentwicklung bei Frauen 33,6 Jahre und bei Männern 35,5 Jahre. Diese Angaben korrelieren gut mit der Auswertung aller Studien und Fallberichte. Danach liegt das Alter von Patienten mit Claviculapseudarthrose, bei Erstdiagnostik bzw. Therapie gehäuft in einem Altersbereich von ca. 25 bis 56 Jahren mit einem Gesamtmittelwert im Bereich von ca. 36 Jahren.

Körperseite

Die Claviculapseudarthrose kann prinzipiell rechts-, links- oder auch sehr selten beidseitig auftreten. 662 Claviculapseudarthrosen aus den Studien und Fallberichten waren durch Angabe der Körperseite charakterisierbar. Rechtsseitige Claviculapseudarthrosen traten mit 55,4% etwas häufiger auf als Pseudarthrosen an der linken Clavicula mit 44,6%.

Bilaterale Claviculafrakturen sind sehr selten (Daab 1965, Mullett 2001). Um so weniger häufig ereignen sich bilaterale Claviculapseudarthrosen. Ihre Inzidenz liegt angeblich bei ca. 0,2% (Mullett 2001, Kloen 2004). Dennoch können einige Autoren wie Mullett oder Hargan derartige Fallberichte publizieren. Ihre Patienten hatten ein Polytrauma infolge eines hochenergetischen Verkehrsunfalls erlitten. Die daraus jeweils resultierende beidseitige Claviculapseudarthrose wird bei Mullett durch offene Reposition und Plattenosteosynthese erfolgreich versorgt, wobei die Knochenheilung mit residualer Parästhesie im Unterarm eintrat. Hargan verzichtet aufgrund der milden Symptomatik bei seiner Patientin und den Risiken einer offenen Reposition auf einen operativen Eingriff. Obwohl die erhebliche beidseitige Claviculapseudarthrose persistiert, hat die Patientin bei einem späteren Follow-Up außer einer leichten Wetterfühligkeit und kleiner Schulterdeformationen keine Beschwerden (Hargan 1981, Mullett 2001). Auch Kloen therapiert unlängst eine bilaterale Claviculapseudarthrose erfolgreich mithilfe einer anteroinferioren Plattenosteosynthese (LCP = locking compression plate) und Spongiosaplastik. Die 30-jährige Patientin war beim Follow-Up nach 12 Monaten schmerzfrei und hatte einen vollen Bewegungsumfang beider Schultern (Kloen 2004). Die Therapie der von Rabenseifner festgestellten beidseitigen Claviculapseudarthrose wird nicht ausgeführt (Rabenseifner 1981).

Zusammenfassend waren lediglich 5 beidseitige Claviculapseudarthrosen unter den Studien und Fallberichten beschrieben (Hargan 1981, Rabenseifner 1981, Mullett 2001, Kloen 2004, O'Conner 2004). Dies entspricht bezogen auf 1807 ausgewertete Claviculapseudarthrosen einem Anteil von 0,28%.

Trophik

Atrophe Claviculapseudarthrosen kommen mit 61,4% unter 772 charakterisierten Pseudarthrosen in den Studien und Fallberichten am häufigsten vor. Hypertrophe Formen werden darin mit 36,7% festgestellt. Auch Sadiq berichtet, dass die atrophe Claviculapseudarthrose häufiger vorkommt als die hypertrophe Form (Sadiq 2001). Nach Klönz hingegen liegt der Anteil atropher Claviculapseudarthrosen durchschnittlich bei nur 30%, der von hypertrophen Claviculapseudarthrosen bei 70% (Klönz 2002).

Bereits 1960 definierte Neer die zwei prinzipiell unterschiedlichen pathologischen Ausprägungen der Claviculapseudarthrose (Neer 1960), eine *atrophe* und eine *hypertrophe* Form.

Die *atrophe* Claviculapseudarthrose ist charakterisiert durch eine Resorption des der Fraktur angrenzenden Knochenmaterials. Dies hat sich verjüngende, atrophisch zugespitzte Fragmentenden, Obliteration des Knochenmarkkanals und einen Spalt, der mit fibrösem Gewebe gefüllt ist, zur Folge (Neer 1960). Davids beschreibt die *atrophe* Pseudarthrose durch eine ausbleibende oder minimale Callusbildung mit Ausdünnung der Frakturfragmente und Verlust von Knochenmasse am Frakturspalt (Davids 1996). Die atrophe Form der Claviculapseudarthrose tritt nach - vor allem nicht gewebeschonender - operativer Therapie häufiger als die hypertrophe Form auf und ist nicht selten von einer Defektbildung begleitet (Hierholzer 1984). Sie wird auch häufiger nach Frakturen mit schwerem Weichteilschaden beobachtet (Kortmann 2004). Die Ursachen der atrophen Claviculapseudarthrose können nach Neer an zurückliegenden Infektionen oder exzessiver Knochenentfernung während der vorausgegangenen Osteosynthese mit zu ausgedehnter Knochendevastierung oder unzureichender Stabilisierung durch ungeeignete Osteosyntheseverfahren liegen (Neer 1960). Kortmann sieht vor allem eine stark verminderte lokale Durchblutung als Ursache der Heilungsverzögerung an (Kortmann 2004). Chirurgisch erweisen sich die atrophen Clavicula-pseudarthrosen als technisch schwieriger aufgrund der fehlenden Knochensubstanz, die sich teilweise in einer Spaltbreite bis zu 3 cm und mehr ausdrückt (Neer 1960). In der Regel werden bei der atrophen Form die Knochenenden angefrischt und zur Auffüllung des Defektes zusätzlich autologe Knochenspongiosa oder ein corticospongiöser Span aus dem vorderen Beckenkamm angelagert bzw. eingepasst. Oft ist die sichere Schraubenverankerung bei Osteosynthesen bei den atrophischen Pseudarthrosen nicht unproblematisch (Kuner 1979). Auch ist nach einer statistischen Analyse das Heilungsergebnis (Constant score) der atrophen Claviculapseudarthrose nach erfolgter operativer Versorgung signifikant schlechter als das der hypertrophen Claviculapseudarthrose (Connolly 1989, Olsen 1995).

Die *hypertrophe* Pseudarthrose wird definiert als ‚benigne‘ Heilungsstörung mit oft massiver Callusbildung ohne Resorption der Fragmente (Davids 1996). Neer beschreibt sie als falsches Gelenk mit Hyalin-ähnlichem Knorpel, der die verdickten Knochenenden bedeckt und manchmal mit Gelenkflüssigkeit einhergeht (Neer 1960). Weber bezeichnet Pseudarthrosen mit starker Callusbildung als Elefantenfußpseudarthrosen (Weber 1973). Die Entstehung der hypertrophen Pseudarthrose wird auf eine ungenügende Reposition und Ruhigstellung oder eine Refraktur im Sinne einer persistierenden Frakturinstabilität zurückgeführt, wobei die Gefäßversorgung der Frakturenenden in der Regel intakt ist (Hagemann 1982, Kortmann 2004). Durch permanente Unruhe im Frakturspalt kann der Bruch nicht konsolidieren. Dies kann Ergebnis inadäquater sowohl primär konservativer als auch operativer Behandlung (instabile Osteosynthesen) sein. Operativ ist bei der hypertrophen Form mitunter die Herstellung der exakten Passform bei der chirurgischen Intervention nicht ganz einfach (Kuner 1979). Es muss meist zunächst zur Anpassung des Implantats und häufig auch aus kosmetischen Gründen überstehendes Callusgewebe abgetragen werden.

Auch eine *hypotrophe* bzw. *oligotrophe* Claviculapseudarthrose-Form mit mäßiger Callusbildung als Zwischenform zwischen atropher und hypertropher Claviculapseudarthrose ist beschrieben (Weber 1973, Capicotto 1994, Marti 2003, Kortmann 2004). Unter *Defektpseudarthrose* ist eine Form der Claviculapseudarthrose zu verstehen, die sich infolge der Aussprengung bzw. Fehlens eines Knochenstückes bzw. nach einem Infekt heranzubilden kann (Friedrich 1973, Walcher 1973, Kortmann 2004), wobei die Bruchenden weit auseinander stehen. Von einer Gelenkbildung im eigentlichen Sinne kann hier keine Rede sein. Die Markräume sind abgedeckelt und der Defekt ist narbig ausgefüllt, häufig unter Einschluss von knorpeligem oder gar knöchernem Gewebe, vor allem bei mit Infektionen ausheilenden Pseudarthrosen (Broichmann 1965). Die zusätzliche Schädigung der Weichteile bei Defekt-Infekt-Pseudarthrosen verhindert eine knöcherne Überbrückung durch Callusgewebe auch dann, wenn eine stabile technisch korrekte Osteosynthese vorliegt. Bei initial erheblichem Trauma ist die Defektpseudarthrose besonders infektionsgefährdet, so dass die gefürchtete Defekt-Infekt-Pseudarthrose die Folge sein kann. Bei dieser Sonderform entsteht ein *Circulus vitiosus*: Der Infekt führt zu weiterer Knochenresorption, die eine Instabilität begünstigt (Kortmann 2004). Die Behandlung dieser claviculären Pseudarthrosen mit knöchernem Defekt stellt ein schwieriges chirurgisches Problem dar (Seiler 1993). Über die Behandlung von *infizierten* Defektpseudarthrosen mit einem Klammerfixateur oder einer stabilen Rekonstruktions-Platte berichtet Müller (Müller 1982). Oft ist in einer ersten Sitzung eine ausgedehnte Sequestrotomie mit nachfolgender Einlage eines Kollagen-Gentamicin-Schwamms erforderlich (Köck 1996). Schuind stabilisiert die Fragmente in diesem Fall durch Anbringen eines Fixateur externe. Nach Abklingen des Infektes und bei gesicherter Wundheilung, wird in einer zweiten Sitzung nach 1-2 Wochen die Auffüllung des Defektes mit einem autologen corticospongiösen Span und eine autologe Spongiosaplastik durchgeführt (Schuind 1988).

Verschiedene Autoren klassifizieren in den letzten Jahren neben der atrophen, der oligotrophen, der hypertrophen und der Defekt-Claviculapseudarthrose noch eine zusätzliche spezielle Form, die sie ‚*synovial pseudarthrosis*‘ nennen, da in deren Frakturspalt Synovialflüssigkeit vorzufinden ist (Jupiter 1987, Capicotto 1994, Bradbury 1996, Ebraheim 1997, Hoe-Hansen 2003). Diese Pseudarthrose-Form, die dadurch entsteht, dass exzessive Bewegung an der Stelle der Pseudarthrose das umgebende Gewebe dazu veranlasst sich wie ein synoviales Gelenk einschließlich der Produktion von Synovialflüssigkeit zu verhalten (Ring 1997), kommt einer *echten, tatsächlichen* Pseudarthrose nahe, bei der ein echtes Gelenk zwischen den sklerosierten und devitalisierten Fragmenten mit Abdeckung der Markhöhle, Knorpelüberzug, Gelenkkapsel- und Synoviabildung vorzufinden sind (Friedrich 1973).

Straffe und schlaaffe Claviculapseudarthrosen

Einige Autoren differenzieren nach dem pathologisch-anatomischen Bild je nach Fixationskraft des Callus zwischen straffer Pseudarthrosen und schlaffer Pseudarthrosen. Dies hat u.U. Konsequenzen bei der Therapie, da bei den schlaffen Pseudarthrosen z.B. vor Anbringung einer Kompressionsplatte, die Fragmentenden decortiert werden müssen (Weber 1973, Fontaine 1984). Bei der *straffen* fibrösen Pseudarthrose besteht ein schmaler Pseudarthrosenspalt, der mit derbem Gewebe überbrückt ist, besonders im Randbereich und manchmal von sehr harter Konsistenz. Die Markräume sind mit sklerotischem Gewebe abgedeckelt. Die Bruchfragmente sind regelhaft nur gering verschieblich. Die *schlaaffe* fibrinöse Pseudarthrose ist durch einen vergleichsweise breiten interfragmentären Spalt, der oft von einer schleimig-viskosen Flüssigkeit ausgefüllt wird, gekennzeichnet. In den Außenbereichen liegen stärkere Vernarbungen vor, die der Gelenkkapsel entsprechen. Die Markräume sind vollkommen ossär abgeschlossen. Die schlaaffe Pseudarthrose kann sich mit geringen Wackelbewegungen bis zu schwerstem Schlottern darstellen. Die Achsenabknickungen sind oft beträchtlich.

Innerhalb der analysierten Studien wird diese Klassifizierung tatsächlich nur in einem Fall durch Baciu vorgenommen, der 6 straffe und 4 schlaaffe Claviculapseudarthrosen charakterisiert (Baciu 1966).

Vaskularisation

Ein Differenzierung in hypervaskuläre und avaskuläre Claviculapseudarthrosen nimmt Wu vor (Wu 1998). Friedrich prägt die Begriffe der hyperämischen bzw. anämischen Pseudarthrosen (Friedrich 1973). Beide Formen bedingen nach Weber eine unterschiedliche Therapie (Weber 1981). Die hypervaskuläre (hyperämische) Form entsteht eher durch Irritation oder instabile Fixation des Frakturspalts und kann allein durch stabile Fixation versorgt werden. Die avaskuläre (anämische) Claviculapseudarthrose ist verursacht durch Durchblutungsstörungen im Frakturgebiet und einen Verlust der osteogenen Regenerationskraft und muss mithilfe stabiler Fixation und Verfahren, die die Osteogenese anregen, behandelt werden (Wu 1988). Innerhalb der Studien wurde keine diesbezügliche Einteilung vorgenommen.

Symptomatik

94,2% der analysierten Claviculapseudarthrosen zeigten sich symptomatisch bei klinischer Begutachtung, der Anteil beschwerdefreier, asymptomatischer Claviculapseudarthrosen liegt in den Studien durchschnittlich bei 5,8%. Der Anteil *asymptomatischer* Claviculapseudarthrosen wird in der Literatur kontrovers dargestellt. Annersten bezeichnet *asymptomatische* Claviculapseudarthrosen als ‚nicht unüblich‘, besonders bei wiederholt operativ versorgten Claviculapseudarthrosen. Rabenseifner spricht von einem häufigen Auftreten und Wilkins findet besonders bei atrophischen Claviculapseudarthrosen einen hohen Anteil (8 von 11) symptomfreier Patienten (Annersten 1948, Rabenseifner 1981, Wilkins 1983). Dies passt zur Beobachtung von Johnson, nachdem eine Claviculapseudarthrose häufig erst röntgenologisch diagnostiziert wird, ohne dass der Patient von dieser weiß bzw. ohne dass der Patient durch diese eine wesentliche Beeinträchtigung erfährt (Johnson 1963). Leupin formuliert, dass die Entdeckung der asymptomatischen Claviculapseudarthrose ein Zufallsbefund bei Standard-Röntgen-Thorax-Aufnahmen ist (Leupin 1998). So bemerkt auch Eberle, dass es auffallend ist, dass nur einer seiner 8 Patienten mit Claviculapseudarthrose von der Frakturheilungsstörung Kenntnis hatte. Bei den übrigen 7 Patienten handelte es sich um einen Zufallsbefund anlässlich der röntgenologischen Nachkontrolle (Eberle 1973). Auch Effenberger berichtet von straffen Pseudarthrosen, die dem Verletzten keinerlei Beschwerden bereiteten und nur röntgenologisch auffällig waren (Effenberger 1981).

Nach Kloen hingegen sind Claviculapseudarthrosen *häufig* mit Beschwerden für die Patienten verbunden (Kloen 2002). Bei den Untersuchungen von Robinson waren 28 von 29 dislozierten Claviculapseudarthrosen im mittleren Drittel mit Symptomen assoziiert, jedoch nur 10 von 19 im *acromialen* Bereich (Robinson 1998). Auch Nordqvist berichtet, dass von 10 acromialen Pseudarthrosen nur 2 schmerzhaft waren (Nordqvist 1993). Im Krankengut von Nowak sind alle (17 von 17) Claviculapseudarthrosen symptomatisch (Nowak 2002). Eine Erklärung der divergierenden Aussagen könnte darin liegen, dass die Pseudarthrose der Clavicula manchmal funktionell nicht ungünstig ist, weswegen nur ein kleiner, nicht quantifizierter Teil der Claviculapseudarthrosen zur operativen Behandlung gelangt (Probst 1970) und ein Großteil der Claviculapseudarthrosen nicht in die klinische Evaluation einbezogen werden kann.

Von wesentlicher Bedeutung ist auch, dass die Symptome einer Claviculapseudarthrose erst mit einer großen zeitlichen Verzögerung eintreten können. Storen berichtet über eine Patientin, die erst 26 Jahre (!!) nach einer Claviculafraktur mit nachfolgender stummer Claviculapseudarthrose erstmalig andauernde, zunehmende und stark ausstrahlende

Schmerzen bekam. Ursache der akuten Symptomatik war das Heben einer besonders schweren Last, wodurch es nach Ansicht von Storen zu einer plötzlichen starken Kontraktion des M. sternocleidomastoideus und der Schlüsselbeinportion des M. pectoralis major kam. Dadurch wurde die Stellung der Bruchstücke verändert, was zu einem Zug auf den Plexus brachialis durch alte Verwachsungen des umgebenden Gewebes führte (Storen 1946). Auch Mezzari berichtet über eine Claviculapseudarthrose, die erst nach 25 Jahren durch Schmerzen und Parästhesien bemerkt wurde und einen operativen Eingriff erforderlich machte (Mezzari 1952).

Symptomarten und Befunde

Durchschnittlich 79,9% der Patienten klagten innerhalb der Studien über Schmerzen in Ruhe und/oder in Bewegung sowie 56,7% über Funktionsminderungen der Schulter/des Arms. Neurologische oder vaskulär bedingte Symptome waren bei 17,9%, kosmetische Mängel bei 14,1% und Crepitationen im Schulterbereich bei 4,5% der Patienten im Mittel zu verzeichnen. Auch Kloen und andere Autoren nennen als Hauptsymptome der Claviculapseudarthrose: Schmerz, eingeschränkte Schultermobilität, kosmetische Deformationen und neurovaskuläre Symptome durch Kompression der Subclavia-Gefäße und/oder des Plexus brachialis (Boehme 1991, Simpson 1996, Ballmer 1998, Kloen 2002).

In der historischen Zusammenschau definiert Koch die Symptomatik als meist schmerzhafte Einschränkung der Beweglichkeit im betroffenen Schultergelenk mit Herabsetzung der groben Kraft in Schulter und Arm (Koch 1971). Insbesondere die hypertrophe Form der Claviculapseudarthrose geht manchmal mit nur geringem Beschwerdebild einher. Meist klagen die Patienten allerdings über schmerzhafte Bewegungseinschränkungen im Schultergelenk, über Kraftminderung und über subjektiv empfundene Belastungsinstabilität. Im Einzelfall kann auch eine ausgeprägte Callusmuffe zu einer Plexusirritation führen (Hierholzer 1984). Im Rahmen der Diagnostik ist die klinische Feststellung der falschen Beweglichkeit einer Claviculapseudarthrose ‚*erfahrungsgemäß recht schwierig*‘ (Kuner 1979). Anamnestisch bestehen Spontan- und Bewegungsschmerz. Klinisch erkennbar präsentieren sich Patienten mit Claviculapseudarthrose mit eingeschränkter Schulterbeweglichkeit, oft auch durch eine Verkürzung, ein Vorwärts- und Abwärtshängen bzw. eine Innenrotation der verletzten Schulter, verglichen mit der nichtverletzten kontralateralen Seite, was an der Dislokation des lateralen Fragments aufgrund des Gewichts des Arms liegt (Berkheiser 1937, Annersten 1948). Einige Autoren beobachteten daher auch Patienten, bei denen das mediale Fragment nach oben zeigt, was, ebenso wie eine extensive Callusbildung, zu einer sichtbaren, kosmetisch störenden Deformation führen kann und die Integrität der Haut gefährdet (Olsen 1995).

Schmerz

Die häufig ausgebildete Schmerzsymptomatik kann über einen weiten Bereich variieren, von milden Beschwerden bei Überkopf-Aktivitäten mit dem Arm bis hin zu unerträglichen Ruheschmerzen (Kloen 2004). Zahlreiche Autoren berichten über moderate bis starke Schmerzen als Hauptsymptom der Claviculapseudarthrose und weisen sie bei mehr als 75% der Patienten aus (Berkheiser 1937, Neer 1960, Sakellarides 1961, Marsh 1970, Pyper 1978, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Lipton 1988, Jupiter 1989, Rockwood 1997, Sadiq 2001). Steffelaar nennt den persistierenden lokalen Schmerz als eines der Leitsymptome der Claviculapseudarthrose und als Indikation für eine operative Versorgung (Steffelaar 1974). Dabei ist die Schmerzlokalisierung nicht unbedingt immer an der Fraktur selbst, sondern häufig ausstrahlend in Richtung Unterarm und Hand (Annersten 1948). Wilkins beschreibt eine geringere Schmerz- und Symptomausprägung bei Patienten mit atropher Claviculapseudarthrose als bei denen mit hypertropher Pseudarthrose, was er auf die Abwesenheit des Callus und seiner kompressiblen Tendenz zurückführt (Wilkins 1983).

Dieses Ergebnis wird allerdings von Wick in Frage gestellt, dessen 12 Patienten mit hypertropher und 27 Patienten mit atropher Claviculapseudarthrose in gleicher Weise über Schmerzen klagen, unabhängig von der Art der Pseudarthrose und der Schwere des initialen Traumas (Wick 2001).

Der Schmerz bei der Claviculapseudarthrose kann verursacht sein durch die schmerzhafte Pseudarthrose selbst, durch den hypertrophen Callus, der auf die umgebenden Strukturen (z.B. neurovaskuläre Kompression) drückt sowie durch die Verkürzung und die Dysfunktion des Schultergürtels (Jupiter 1987, Sadiq 2001). London berichtete bereits früher, dass der Schmerz in einigen Fällen trotz erfolgter Knochenheilung persistiert, dies aufgrund der Deformationen, die einen Druck auf die tieferliegenden Strukturen ausüben können. Auch bei bestehender Pseudarthrose können die Symptome von diesen Deformationen eher herrühren als von der ausbleibenden Frakturheilung selbst (Taylor 1969). Die Schmerzsituation bzw. andere lokale Symptome können sich auch häufig auf die Schlafqualität der Patienten auswirken. Im Patientengut von Der Tavitian gaben 16 von 20 Patienten Probleme mit der Schulter bei der Nachtruhe an, was sich in der Unmöglichkeit ausdrückte auf der Seite der pseudarthrotischen Clavicula zu schlafen bzw. in einem häufigen nächtlichen Erwachen (Der Tavitian 2002).

Funktionseinschränkung / reduzierte Beweglichkeit / Armschwäche

Zilch und zahlreiche andere Autoren konstatieren, dass die Claviculapseudarthrosen die mechanische Funktion des gesamten Schultergürtels erheblich beeinträchtigen, zum einen dadurch, dass sie die Rotationsbewegung der Clavicula um die Längsachse behindern, zum anderen die Funktion der Kraftabsorption schmerzhaft herabsetzen (Zilch 1982). Tatsächlich sind bei 56,7% der Patienten Bewegungseinschränkungen und Kraftminderung (Armschwäche), manchmal auch abnorme Beweglichkeit nach den Schmerzen die häufigsten Leitsymptome bei Claviculapseudarthrosen.

Crepitatio („clicking“)

Relativ häufig soll nach einigen Autoren bei Claviculapseudarthrosen ein klickendes, knirschendes oder knarrendes Geräusch in der Schulter bei der Bewegung des Arms festzustellen sein (Berkheiser 1937). In der Auswertung von 864 Patienten tritt dieses jedoch nur mit einer Häufigkeit von 4,5% auf. Allerdings ist eine nicht vollständige Angabe dieses Symptoms in den Studien zu unterstellen.

Assoziierte neurovaskuläre Symptome

Neurovaskuläre Symptome können als milde Dysästhesie oder Parästhesie bis hin zu einem ausgeprägtem Thoracic-outlet-Syndrom mit abgeschwächtem peripherem Puls und/oder venösem Stau auftreten (Kloen 2004). Claviculapseudarthrose-bedingte Deformationen bzw. das kaudale, meist laterale dislozierte Knochenfragment können dabei zur Kompression der Subclavia-Gefäße und/oder des Plexus brachialis führen (Chalier 1930, Berkheiser 1937, Ghormley 1941, Annersten 1948, Rosati 1961, Steinberg 1961, Howard 1965, Jupiter 1987). Dabei können u.a. Plexusreizsymptome auftreten, wobei die Parästhesien häufig im Verteilungsgebiet des N. ulnaris vorhanden sind (Hargan 1981). Yates berichtet bereits 1928 über Claviculapseudarthrosen, die mit einer cerebralen Embolie und einer subclaviären Thrombose einhergehen (Yates 1928). Berkheiser demonstrierte, dass der costoclaviculäre Raum am engsten zwischen der ersten thorakalen Rippe und einem Punkt lateral des mittleren Claviculadrittels ist (Berkheiser 1937). Dies ist genau der Punkt, der am verletzungsempfindlichsten ist und an dem der ulnare Anteil des Plexus brachialis über die erste Rippe verläuft (Annersten 1948). Marti (Marti 2003) fasst einige der teilweise vorliegenden Begleitsymptome der Claviculapseudarthrose so zusammen: Brachialplexus-Läsionen und -Lähmungen (Berkheiser 1937, Watson-Jones 1940, Storen 1946, Campbell 1949, Pipkin 1951, Sakellarides 1961, Nevasier 1963,

Luskin 1967, Rowe 1968, Wilkins 1983, Kay 1986, Connolly 1989, Ballmer 1998), Kompression der V. subclavia (Koss 1989) und das Thoracic-outlet-Syndrom TOS (Bargar 1984). Parry führt als Beispiel einer postoperativen Komplikation eine Patientin an, die 17 Jahre nach Frakturversorgung mit Kirschnerdrähten und Knochenplastik sich mit einem 2 Jahre bestehenden, geschwollenen, ödematösen Arm und diesbezüglichem Schweregefühl präsentierte. Die linke Clavicula zeigte einen ungewöhnlichen knöchernen Vorsprung und ein Knirschen bei Schulterbewegungen. Die Differentialdiagnose und häufige Fehldiagnose eines Lymphödems konnte ausgeschlossen werden, da sonographische Untersuchungen einen Verschluss der linken V. subclavia an der Überkreuzungsstelle der Clavicula ergaben. Dies war vereinbar mit einem TOS als Folge einer raumfordernden Claviculapseudarthrose. Parry macht deutlich, dass das TOS, welches meist mit Schwellungen des Arms, Schweregefühl, Ermüdbarkeit und Cyanose einhergeht, häufig als Lymphödem, Raynaud-Syndrom, Schulter-Hand-Syndrom, Carpal tunnel-Syndrom oder funktionelle Störung missdeutet wird (Parry 2000). Bei den Untersuchungen von Robinson waren 28 von 29 dislozierten Claviculapseudarthrosen im mittleren Drittel mit Symptomen assoziiert, jedoch nur 10 von 19 im *acromialen* Bereich (Robinson 1998). Auch Nordqvist berichtet, dass von 10 acromialen Pseudarthrosen nur 2 schmerzhaft waren (Nordqvist 1993). Im Krankengut von Nowak sind alle (17 von 17) Claviculapseudarthrosen symptomatisch (Nowak 2002).

Diese Begleitsymptome können vor allem bei hypertrophen Claviculapseudarthrosen des mittleren Schaftbereichs angetroffen werden (Watson-Jones 1940, Pipkin 1951, Lord 1971, Bargar 1984, Kay 1986, Hill 1997, Fujita 2001, Chen 2002, Garnier 2003). Oftmals ist der distale Truncus betroffen, was zu Beschwerden des N. ulnaris führt (Kay 1986). Darüber hinaus wird insbesondere das Problem der Brachialgie unterschätzt (Connolly 1989). Als ernstzunehmendes Problem bezeichnet sie Marti (Marti 2003), der 12 von 28 präoperativen Brachialgien und 8 von 28 postoperativen Brachialgien beschreibt, von denen 4 von 28 nach Resektion der 1. Rippe verschwanden und 4 von 28 dauerhaft verblieben. Auch nach Shackford kann die Claviculapseudarthrose mit dem neurogenen Thoracic-outlet-Syndrom (TOS), dem Paget-von Schrötter-Syndrom (effort thrombosis of the subclavian vein) und arterieller Kompression assoziiert sein (Shackford 2003).

Die Prävalenz neurovaskulärer Dysfunktionen bei Patienten mit Claviculapseudarthrose wird in der Literatur in einem weiten Bereich von 6-52% angegeben (Wilkins 1983, Jupiter 1987, Leupin 1998). Probst findet beispielsweise unter 95 Patienten mit Claviculapseudarthrose in 8 Fällen Nerven- und in 2 Fällen Gefäßschäden (Probst 1973). Innerhalb der Studien liegt der Patienten-Anteil mit neurovaskulären Symptomen bei durchschnittlich 17,9%. Diese neurovaskulären Symptome sind allerdings bezüglich ihres zeitlichen posttraumatischen Auftretens sehr variabel. Ihr Erscheinen kann sich bereits wenige Tagen bis Wochen nach dem Unfall-Ereignis aber auch erst über 10 Jahre nach dem Trauma ereignen (Campbell 1949, Kay 1986). Dies ist oft dann der Fall, wenn eine zunächst symptomlose Claviculapseudarthrose z.B. durch überschießende Callusbildung durch neurologische oder vaskuläre Komplikationen symptomatisch wird (Hierholzer 1983, Breitner 1991).

Diagnostik

In vielen Fällen zeigen sich bei der klinischen Inspektion optische Auffälligkeiten. Koch registrierte bei der Hälfte seiner Patienten eine Asymmetrie der Schulterkulisse mit Verkürzung der Strecke Sternum-Acromionspitze der erkrankten Seite wegen der bestehenden ‚*dislocatio ad latus cum contractione*‘ (Koch 1971). Palpatorisch kann festgestellt werden, ob die Bruchfragmente sich gegeneinander verschieben lassen (Brill 1968). Die Diagnose einer Claviculapseudarthrose kann jedoch nicht immer klinisch gestellt werden. Häufig wird eine Claviculapseudarthrose röntgenologisch diagnostiziert ohne dass der Patient von dieser weiß bzw. ohne dass der Patient durch diese eine wesentliche

Beeinträchtigung erfährt (Johnson 1963). Aufgrund der relativ subkutanen Lage der Clavicula kann die Morphologie der Claviculapseudarthrose gewöhnlich durch die Standard-Röntgen-Technik durch Röntgenstandardaufnahmen in 2 Ebenen ohne Schwierigkeiten gut dargestellt werden. Bei straffen Pseudarthrosen oder bei Überlagerung durch noch liegendes Osteosynthesematerial kann der Nachweis erschwert sein (Kuner 1979, Hierholzer 1984). In manchen Fällen täuscht ein nur in einer Aufnahmerichtung (z.B. p.a. in Bauchlage oder a.p. in Rückenlage) gefertigtes Röntgenbild eine knöcherne Situation bzw. Ausheilung vor, die tatsächlich nicht gegeben ist. In manchen Fällen ist die radiologische Bewertung der Knochenheilung dadurch erschwert, dass die frühe Callusbildung teilweise von dem Implantatmaterial, z.B. bei Verwendung einer Doppelplatten-Osteosynthese verdeckt sein kann (Sadiq 2001). Es empfiehlt sich dann zusätzlich zur a.p. Aufnahme auch tangentielle Aufnahmen, die nicht durch Thoraxanteile überlagert sind, im kaudokranialen Strahlengang nach Zimmer-Brossy (Steffelaar 1974, Kuner 1979, Pannike 1982, Hierholzer 1984, Schunk 1988) anzufertigen und nötigenfalls die transthorakale Aufnahmetechnik anzuwenden (Probst 1970). Mit dieser in einer dritten Ebene durchgeführten Aufnahmetechnik lassen sich verdeckte Pseudarthrosen sowie Knickungen in Richtung auf den Armplexus aber auch eine z.B. abgebrochene, aus dem Knochen herausragende Kirschnerdrahtspitze besser als mit einer Schichtserie erkennen (Probst 1973). Dabei ist auch die Abduktions-Lordose-Aufnahme von Riemer besonders hilfreich, um das operative Ergebnis zeitlich zu verfolgen. Bei dieser Aufnahmetechnik wird die zu untersuchende Schulter um 90° bzw. 135° abduziert und der Röntgenstrahl 25° bezogen auf den Strahlengang nach kaudal gekippt (Riemer 1991, Simpson 1996).

Kann die Claviculapseudarthrose nicht ausreichend durch die klinische Untersuchung und durch eine Standard-Röntgenaufnahme diagnostiziert werden, ist ggf. eine Panoramaaufnahme des Schultergürtels für Fragen einer bestehenden Verkürzung (Hierholzer 1984) oder ein Planigramm erforderlich (Davids 1996). Ballmer diagnostiziert in diesem Sinne die veränderte Geometrie der Clavicula aufgrund der Pseudarthrose an Hand einer ap-Panoramaaufnahme beider Clavikel, um die Orientierung und Länge der Clavikel zu vergleichen sowie einer ap- und 30° gekippten Aufnahme der betroffenen Seite (Ballmer 1998). Nowak lässt Röntgenaufnahme ap und in 45° gekippt anfertigen (Nowak 2001). Alternativ werden die röntgenologischen Aufnahmen ap und in 15° gekippt beschrieben (Jones 2000, Sadiq 2001). Bei zweifelhaften röntgenologischen Darstellungen können Tomogramme oder CT-Aufnahmen und in Einzelfällen eine szintigraphische Bildgebung hilfreich sein (Simpson 1996, Jones 2000, Klonz 2002). Wenn neurovaskuläre Strukturen betroffen sind, können elektromyographische oder angiographische Diagnoseverfahren eingesetzt werden (Simpson 1996). Auch die Kernspin-Tomographie kann dafür in Frage kommen. Zur Planung des operativen Zugangs kann eine anteroposteriore Projektion beider Claviculae hilfreich sein, um die Claviculalänge festzustellen, die wiederhergestellt werden muss (Simpson 1996).

Verlaufsdiagnostik und Langzeit-Bewertungen

Als wesentliche Verlauf- und Kontrollparameter für das Ergebnis der Claviculapseudarthrose-Therapie gelten die radiologisch überprüfte Knochenkonsolidierung, die Abnahme der Schmerzen und die verbesserte Beweglichkeit der Schulter. Zenni bzw. Wu definieren eine erfolgte Knochenheilung wenn kein Schmerz oder keine Empfindlichkeit mehr über der Frakturstelle bestehen und wenn röntgenologisch das komplette Verschwinden des Frakturspalts oder des soliden Callus, der die Frakturfragmente verbindet, festgestellt wird (Zenni 1981, Wu 1998).

Zur subjektiven Quantifizierung des Schmerzzustandes verwenden Marti bzw. Hoe-Hansen den VAS-Test (Hoe-Hansen 2003, Marti 2003). Dieser besteht aus einer visuellen Analogskala für den Schmerzzustand, einem nicht skalierten Balken ohne zahlenmäßige

Vorgaben. Der Patient kann damit seinen Schmerzeindruck zwischen den Extrempunkten ‚kein Schmerz‘ und ‚unerträglicher Schmerz‘ angeben, wodurch eine Dokumentation des Zeitverlaufs der Schmerzintensität möglich wird.

Zur Verlaufdiagnostik und Bewertung der Wiederherstellung der Schulterfunktionen wurden verschiedene Bewertungsskalen eingeführt. Eine in den letzten Jahren häufig gebrauchte und als Goldstandard bezeichnete Bewertungsskala (Laursen 1999, Olsen 1995, Marti 2003) ist der *Constant-Murley-Score* (Constant 1987, Constant 1991, Ellman 1992), der sich aus den Parametern Schmerz, Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), Bewegungsumfang (ROM) und Kraft zusammensetzt und damit zwischen leichten und schweren Einschränkungen der Schulterfunktion differenziert unterscheiden kann (Marti 2003). Allerdings ist der Constant-Murley-Score nicht geeignet, um die oftmals aus Patientensicht bedeutungsvollen kosmetischen Ergebnisse des operativen Verfahrens und die lokale Palpabilität von Implantaten zu bewerten (Sadiq 2001). Zur Beurteilung der Gesamtfunktion der Schulter wird selten auch der *Imatani Score* verwendet (Imatani 1975, Sadiq 2001). Laursen verwendet zur Bewertung der Muskelkraft das Isobex 2.1 Traktions-Gerät, sowie zur Bestimmung des Aktivitätslevels des Patienten den *Tegner activity Score* (Olsen 1995, Tegner 1985, Laursen 1999). Die Funktion der Scapula kann mit dem *Pseudo-winging-Test* nach Vastamäki bestimmt werden (Vastamäki 1989, Nowak 2001).

Besonders hinsichtlich der Bewertung der Langzeit-Ergebnisse wird von Boyer, O'Connor bzw. von Jubel der von der AAOS (American Academy of Orthopedic Surgeons) entwickelte *DASH-Fragebogen* (Disability of the arm, shoulder and hand questionnaire) eingesetzt (Hudak 1996, Turchin 1998). Die die obere Extremität bewertende Testkomponente beinhaltet einen spezifischen 38 Punkte-Katalog zur Bewertung des Behinderungsgrades, wobei 30 Punkte der allgemeinen Funktion, 4 Punkte dem Bereich Sport/Musik und 4 Punkte der Arbeit zugeschrieben werden. Im Endergebnis steht ein höherer DASH-Score für eine höhere Behinderung des Patienten (Boyer 1997, O'Connor 2004, Jubel 2005). Ergänzend verwendet O'Connor den *SF-36-Test*, der den subjektiven Gesundheitszustand des Patienten bewertet, einen *14-Punkte-Komorbiditäts-Test* und eine *Behandlungs-Erwartungs-Skala* (O'Connor 2004).

In Tab. 4-27 sind die in den Studien und Fallberichten verwendeten Bewertungsskalen dargestellt. Dabei kommt lediglich dem Constant-Murley-Score, der 14 mal eingesetzt wurde, eine Bedeutung hinsichtlich des Vergleichs von Operationsergebnissen zu. Allerdings ist auch innerhalb der Studien mit Constant-Murley-Score, die Vollständigkeit der Score-Angaben, vor allem hinsichtlich der präoperativen Ausgangslage, oft nicht gegeben.

5.3. Ätiologische Faktoren

Die Gründe für die Entstehung einer Claviculapseudarthrose sind vielfältig, oft diskutiert aber immer noch nicht klar definiert (Simpson 1996). Dies kann an der Tatsache liegen, dass die meisten Analysen und Studien der Claviculapseudarthrose nicht dem gesamten Verlauf von der Entstehung der Claviculafraktur bis zur Pseudarthrosebildung folgen, sondern in der Regel eine retrospektive Betrachtung einer ausgewählten Gruppe von Patienten mit Pseudarthrose darstellen (Simpson 1996). In diesem Sinne geht leider kaum eine der analysierten Studien und Fallberichte über die Therapie von Claviculapseudarthrosen konkret an Hand des jeweiligen Casus auf eine mögliche oder definitive Verursachung dieser Pseudarthrose ein. Stattdessen wird meist pauschal über allgemeine Verursachungsmöglichkeiten hypothetisiert.

Als pathogenetische Faktoren definiert bereits 1964 Gualtieri in Tab. 5-01 (Gualtieri 1964):

Tab. 5-01: Pathogenetische Faktoren zur Entstehung der Claviculapseudarthrose

vorwiegend mechanische Faktoren:

- Bewegung zwischen den Frakturfragmenten
- Diastase durch übermäßige Traktion
- unzeitige und inadäquate Bewegung und Belastung
- fehlende oder unzureichende Immobilisation der Fragmente

vorwiegend biologische Faktoren:

- Infektionen
- avaskuläre Nekrosen der Bruchenden

biologisch-mechanische Faktoren:

- besondere Bruchformen
- Verlust an Knochensubstanz
- Interpositionen
- Osteosynthesematerialien

Wichtige Ursachen und prädisponierenden Faktoren für die Ausbildung einer Claviculapseudarthrose, die in der Literatur genannt werden, sind in Tab. 4-28 im Ergebnis-Teil ausführlich zusammengestellt. Zu ihnen gehören schweres Trauma (Hochenergie-Trauma, Rasanttrauma), Polytrauma, Trümmerbruch, Lokalisation der Fraktur, offene Fraktur, hoher Dislokationsgrad der Fragmente, starke initiale Verkürzung der Clavicula (mehr als 2 cm), insuffiziente operative Behandlung, primär offene Reposition, ungenügende Reposition der Fragmente, ungenügende Dauer der Ruhigstellung/Immobilisation und Refraktur (Sakkelaridis 1961, Manske 1985, Jupiter 1987, Ballmer 1998, Jones 2000, Kloen 2002, Kloen 2004). Aber auch Infektionen, mechanische Faktoren, Durchblutungsstörungen (Friedrich 1973) sowie Weichteilinterpositionen können zur Entstehung einer Claviculapseudarthrose beitragen (Watson-Jones 1955, Frymoyer 1993, Bradbury 1996). Ergänzend erklärt Lindenmaier die ‚in der Literatur angegebene hohe Pseudarthroserate‘ durch Fehler in der Indikationsstellung, Implantatauswahl und Operationstechnik (Lindenmaier 1991).

Hill findet in seiner statistischen Auswertung (Fischer's exakt Test) von 242 Claviculafrakturen *keinen* signifikanten Zusammenhang der Entstehung einer Claviculapseudarthrose mit Alter, Geschlecht, Beruf, Nikotinkonsum, Unfallmechanismus, Trümmerfraktur, vorliegenden Begleitverletzungen oder Technik der Immobilisierung (Hill 1997).

Dagegen liefert eine aktuellere, ebenfalls statistisch unterlegte prospektive Kohortenstudie von Robinson, mit dem Ziel das Claviculapseudarthrose-Risiko nach nichtoperativer Versorgung der Claviculafraktur abschätzen zu können, einen signifikanten Einfluss auf die bevorzugte Entstehung einer Claviculapseudarthrose auch durch das fortgeschrittene Alter des Patienten, das weibliche Geschlecht, eine vollständige Dislokation der Fraktur und das Vorhandensein eines Trümmerbruchs (Robinson 2004-1). Bereits Brill hatte das Alter als eine sehr wichtige Einflussgröße bei der Ausbildung einer Claviculapseudarthrose erkannt und weist mit durchschnittlich 46 Jahren ein wesentlich höheres Alter der Pseudarthrose-Patienten als das der Claviculafraktur-Patienten mit 29 Jahren aus (Brill 1968).

Traumaintensität

Der Einfluss der Traumaschwere einer Claviculafraktur und assoziierter Verletzungen auf die Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose wird in der Literatur allgemein anerkannt. So berichtet bereits Berkheiser im Jahre 1937, dass von seinen 9 Patienten mit Claviculapseudarthrose zuvor alle ein schweres initiales Trauma (Verkehrsunfall oder schweren Schlag auf die Clavicula) erlitten hatten (Berkheiser 1937). Sakellarides teilt die Traumaintensitäten, die zur Entstehung der initialen Claviculafraktur führen, in schwer (z.B. durch Kfz-Verkehrsunfall), mittelschwer (z.B. Sturz vom Fahrrad oder von einer Leiter, Sportverletzungen) und in leicht (z.B. Sturz aus Bett oder vom Stuhl, Stürze auf die ausgestreckte Hand) ein. In seiner Auswertung findet er eine Aufteilung von 60% schweren und je 20% mittelschweren und leichten Traumaintensitäten (Sakellarides 1961). Auch nach Johnson tritt die Claviculapseudarthrose des mittleren Drittels häufiger nach schweren Traumen mit beträchtlicher Dislokation auf, welche initial durch offene Reposition versorgt wurden (Johnson 1963). Die selbe Sichtweise wird auch von Wilkins, Manske sowie Jupiter vertreten, die vorschlagen, dass die Schwere des initialen Traumas und das Ausmaß der Dislokation der Frakturfragmente die bedeutendsten Faktoren sind, die zu einer Claviculapseudarthrose prädisponieren (Wilkins 1983, Manske 1985, Jupiter 1987). Den Einfluss der Traumaintensität auf das Heilungsergebnis beleuchtet auch White und erhält eine statistische Signifikanz hinsichtlich des Zusammenhangs von Traumaschwere und Pseudarthroserate (vgl. Tab. 4-29). Hochenergietraumen resultieren demnach in deutlich höheren Pseudarthrosraten (White 1989). Keine dieser Studien stratifiziert jedoch die Frakturen hinsichtlich der Schwere der Verletzung in adäquater Weise (Simpson 1996).

Unter den verschiedenen Traumaursachen, nach denen sich eine Claviculapseudarthrose ausbildet, finden sich gemäß den Literaturangaben insbesondere schwere Straßenverkehrsunfälle (47%) mit Pkw, Motorrad oder auch Fahrrad, Verletzungen bei Sport- und Freizeitaktivitäten sowie Stürze aller Art und Arbeitsunfälle (vgl. Tab. 4-30). Auch die Auswertung der Studien-Daten bestätigt auf der Basis von 644 Claviculapseudarthrosen die Straßenverkehrsunfälle als häufigste Traumaursachen von Claviculapseudarthrosen mit einem Anteil von sogar 54,2%. Differenziert man die Straßenverkehrsunfälle nach den Verkehrsmitteln, die bei Verursachung des Traumas benutzt wurden, so sind darunter vor allem die Pkw-Unfälle mit 45,8% relativ am häufigsten vertreten (vgl. Tab. 4-32):

44,9% der ausgewerteten Patienten mit Claviculapseudarthrose hatten eine erwähnenswerte Dislokation der Frakturfragmente bzw. eine erhebliche Verkürzung der Clavicula. Der Anteil polytraumatischer Patienten lag bei durchschnittlich 6,6%. Die in der Literatur des öfteren beschriebenen disponierenden Faktoren für eine Claviculapseudarthrose wie z.B. Interposition von Weichteilen bzw. chirurgischem Material, Perfusionsstörungen, Refrakturen u.a. waren in den auswertbaren Studien nicht zu finden.

Dislokation und Art der Frakturfragmente

Der hohe Anteil von Dislokationen in den Studien und Fallberichten steht im Einklang mit den Angaben der Literatur, in der der Einfluss der Fragmentdislokation bei einer Claviculafraktur auf die Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose von vielen Autoren postuliert wird. Exemplarisch wurden deswegen bereits im Ergebnis-Teil die Daten von Robinson vergleichend gegenübergestellt, die eine statistische Signifikanz hinsichtlich des Zusammenhangs von Fragmentdislokation bei Claviculafrakturen im diaphysären bzw. lateralen Bereich und der Entstehungswahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose ausweisen wird (Robinson 1998). Dislozierte Claviculafrakturen resultieren demnach in deutlich höheren Claviculapseudarthrosraten. Annersten nennt schon 1948 die Dislokation als dominante symptomverursachende Ursache bei Claviculapseudarthrosen (Annersten 1948). Auch Sakellarides erachtet das Ausmaß der

Dislokation der Frakturfragmente als wesentlichen prädisponierenden Faktor zur Entstehung der Claviculapseudarthrose. In seinem Krankengut stellt er einen hohen Anteil von Frakturen mit erheblicher Dislokation sowie ausgeprägten Bruchspalten fest (Sakellarides 1961). Eine unzureichende Retention der dislozierten Fragmente aufgrund von Muskelkräften wird auch von anderen Autoren als kausal angeführt (Witt 1952, Franke 1964, Schulz 1966, Lilienberg 1967, Rattenhuber 1973). In diesem Sinne wird die Pseudarthrose-Entstehung dadurch begünstigt, dass das seitliche Fragment der Clavicula durch die Schwere des Armes nach unten und durch den M. pectoralis major nach vorne innen gezogen wird, während der M. sternocleidomastoideus das mittlere Fragment nach oben bewegt. Wick aber auch Matis empfehlen bei Claviculafrakturen im mittleren Schaftdrittel und einer Verkürzung von mehr als 2 cm eine osteosynthetische Versorgung aufgrund der starken Pseudarthroseneigung (Matis 1999, Wick 1999, Wick 2001).

Die Auswirkung der Dislokation der Bruchfragmente auf die Ausbildung der Claviculapseudarthrose wird von Hill 1997 statistisch bewiesen. Nach seiner Auswertung eines Patientenkollektivs von 242 Patienten, findet er, dass die vollständige Dislokation (größer einfache Schaftbreite) und eine damit einhergehende *initiale* Verkürzung an der Frakturstelle von 20 mm oder mehr eine hoch signifikante Assoziation ($p < 0.0001$) zur Entstehung einer Claviculapseudarthrose hat. Hill sieht hierbei einen vermutlichen Zusammenhang mit dem Ausmaß der Weichteil-Ablösung („*stripping*“) oder der Weichteil-Interposition. Eine *finale* Verkürzung im selben Ausmaß ist allerdings *nicht* mit einer Claviculapseudarthrose assoziiert, sondern lediglich mit einem unbefriedigenden Heilungsergebnis verbunden. Somit sieht auch Hill die initiale Dislokation als Hauptursache für die Claviculapseudarthrose an und empfiehlt bei derartigen Claviculafrakturen dringend die *operative* Versorgung durch offene Reposition und innere Fixation (Hill 1997). Weitere Autoren bestätigen in ihren Arbeiten die Dislokation als Hauptursache bzw. signifikant prävalenten Faktor für Claviculapseudarthrosen. So sehen z.B. Jupiter und Wilkins bei 60% der von ihnen nachuntersuchten Patienten mit Pseudarthrose die Ursache in der primär starken Dislokation (Neer 1960, Schmitt 1979, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Craig 1990, Olsen 1995, Nordqvist 1998, Robinson 1998). In einer Studie aus dem Jahre 2004 findet Robinson, dass dislozierte Claviculafrakturen ein 2-3fach höheres Pseudarthrose-Risiko haben als nicht dislozierte (Robinson 2004-1).

Nicht alle Autoren können bei ihren statistisch unterlegten Analysen einen Signifikanz-Nachweis für den Einfluss der Dislokation und vorliegender Trümmer-/Splitterbrüche auf das Heilungsergebnis finden (White 1989). Poigenfürst wiederum bestätigt bei 4 von 4 seiner behandelten Patienten mit Claviculapseudarthrose Mehrfachfragmentbrüche als initiale Traumata (Poigenfürst 1988).

Assoziierte Verletzungen / Polytrauma

Galle 1971 erkennt eine der Ursachen der Claviculapseudarthrose darin, dass beim Polytraumatisierten der Schlüsselbeinbruch zunächst vernachlässigt werden muss, da vitale Interessen im Vordergrund stehen. Bei z.B. ausgedehnter Rippenserienfraktur ist es seiner Ansicht zunächst nicht immer möglich, eine gleichzeitig bestehende Claviculafraktur einzurichten bzw. ruhig zu stellen. Es wird daher bei solchen Patienten leichter zu einer Pseudarthrose der Clavicula kommen als nach einer isolierten Fraktur (Galle 1971). Bei Schmitt stammen 21% der Claviculapseudarthrosen von Patienten mit Polytrauma, die initial keine Behandlung der Claviculafraktur erfahren hatten (Schmitt 1979). Auffallend ist auch bei Hackenbruch der relativ hohe Anteil der Pseudarthrosen von 37,5% in seinem Patientenkollektiv bei Mehrfach-Verletzungen mit Beteiligung des Schädels, des Thorax und des Abdomens, bei denen wegen der vitalen Interessen eine exakte Behandlung der Claviculafraktur unterlassen wurde. In diesen Fällen gab es lediglich den Versuch durch Lagerung eine Reposition bzw. angedeutete Ruhigstellung des Schultergürtels zu erzielen (Hackenbruch 1982-1).

Thurnheer berichtet, dass 50% seiner Patienten mit einer Claviculapseudarthrose neben der initialen Schlüsselbeinfraktur noch weitere und schwerwiegende Verletzungen erlitten hatten, die eine Bettlägerigkeit zwischen 7 Tagen und 10 Wochen notwendig machten. Nach seiner Ansicht ist die Ruhigstellung der Clavicula beim bettlägerigen Patienten viel schwieriger und problematischer als beim mobilisierten, da zuweilen wegen der Lage und Art der Nebenverletzung ein Rucksackverband nicht angelegt werden kann. Zudem wird die nach dorsal ziehende Wirkung des Verbandes durch die Rückenlage größtenteils wieder aufgehoben. Insgesamt wird auch nach seiner Auffassung die Claviculafraktur beim Polytraumatisierten vorerst als nebensächlich betrachtet und entsprechend unzureichend behandelt. Die Claviculafrakturen seiner sechs initial mehrfachverletzten Patienten mit Schädelhirntrauma, Extremitäten- und Rippenfrakturen sind entweder gar nicht oder erst ein bis mehrere Wochen später ruhiggestellt worden (Thurnheer 1969). Hofmann weist darauf hin, dass am liegenden, z.B. polytraumatisierten Patienten der Rucksackverband ein ungeeignetes Behandlungsverfahren zur Retention und Stabilisierung der Frakturenden darstellt. Oftmals ist nach seiner Ansicht in diesen Fällen innerhalb der ersten Behandlungswoche eine tägliche Kontrolle und Nachjustierung des Verbandes nicht sichergestellt (Hofmann 1988). Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von Blömer, der bei bettlägerigen Patienten und Mehrfachverletzten bewusst auf das Anlegen eines fixierenden Verbandes bei Claviculafraktur verzichtet. Nach seiner Theorie ist die Schwere des Schultergürtels infolge der Rückenlage ausreichend genug, um Dislokationen zu verhindern. Tatsächlich bleibt die Pseudarthroserate bei seinen Patienten mit 1,1% bei konservativer bzw. Nichtbehandlung gering (Blömer 1977).

O'Connor zeigte unlängst wiederum in einer statistischen Auswertung, dass die Patienten-Untergruppe, die beim initialen Trauma Begleitverletzungen davon trug, ein signifikant schlechteres funktionelles Endergebnis nach operativer Therapie (Plattenosteosynthese) der Claviculapseudarthrose hatte als die Patienten ohne Begleitverletzungen (O'Connor 2004).

Interposition von Weichteilen bzw. chirurgischem Material:

Schon Lusena erwähnt 1926 die Interposition von Gewebeteilen, vor allem des M. subclavius als Ursache für die Claviculapseudarthrose (Lusena 1926). Pessagno nennt ursächlich die relativ häufige Interposition von Muskelfaszien (Pessagno 1954). Manske aber auch Nikiforidis finden jeweils bei 50% der von ihnen behandelten atrophischen Claviculapseudarthrosen eine Interposition des M. trapezius im Bruchspalt (Manske 1985, Nikiforidis 1996), während Annersten eine Interposition des M. deltoideus und Trillat des M. subclavius bzw. M. pectoralis registriert (Annersten 1948, Trillat 1970, Trillat 1971). Auch Kabak beobachtet Weichteilinterpositionen bei sogar 19 von 33 Patienten (= 58%) mit diaphysärer Claviculapseudarthrose (Kabak 2004).

In seltenen Fällen werden auch xenologe Materialien im Frakturspalt der Claviculapseudarthrose gefunden. Martell berichtet über ein Polyesterband (*Mersilene Tape*), welches zur Versorgung einer früheren acromioclaviculären Verletzung des Patienten verwendet wurde, sich jedoch in der Folgezeit in die gesunde Clavicula hineinerodierte. Diese Claviculaschädigung durch das Mersilene Tape ist als mitverursachender Faktor zu betrachten, denn das Band befand sich genau an der Stelle, an der später bei einem Sturz die Clavicula des Patienten frakturierte und eine hypertrophe Claviculapseudarthrose ausbildete (Martell 1992).

Durchblutung

Als Grund für die vermehrte postoperative Pseudarthrosenbildung nennen Friedrich und Löffler Vaskularisationsprobleme (Friedrich 1973, Löffler 1979). Auch Lies hält die operationsbedingte Minderdurchblutung, neben Ursachen wie weitgehende knöcherne

Devitalisierung sowie Infektion und Fragmentinstabilität für die Entstehung der Claviculapseudarthrosen verantwortlich (Lies 1987).

Dauer vom Zeitpunkt des initialen Traumas bis zur Therapie der Claviculapseudarthrose

Die Zeitspanne zwischen Primärtrauma an der Clavicula und der Therapie der Claviculapseudarthrose spielt eine entscheidende Rolle für den operativen Erfolg und die Heilungswahrscheinlichkeit der Clavicula. Derzeit gibt es jedoch keine Übereinkunft, was den richtigen Zeitpunkt für eine Operation der Clavicula darstellt, wenn sich Zeichen einer verzögerten Heilung oder einer sich ausbildenden Pseudarthrose erkennen lassen.

In der Auswertung von mehr als 100 Studien und Fallberichten variiert die Zeitspanne vom initialen Trauma der Clavicula bis zur von den Autoren beschriebenen letztendlich durchgeführten operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose von wenigen Monaten bis zu 50 Jahren. Als zeitlicher Mittelwert lässt sich eine Zeitdauer von ca. 23,4 Monaten errechnen.

Herbsthofer empfiehlt vor einer operativen Versorgung mindestens 4-5 Monate zu warten, während Wick bei symptomatischen Patienten mit einer Claviculafraktur im Schaftbereich und einer Claviculaverkürzung von mindestens 2 cm bei ausbleibenden Callus-Zeichen bzw. fehlender knöcherner Durchbauung bereits nach 6 Wochen zur Operation der beginnenden Claviculapseudarthrose tendiert (Herbsthofer 1994, Wick 2001). Die Heilungschancen sinken nach den Ergebnissen einiger Autoren mit zunehmendem zeitlichen Abstand der operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose zum Zeitpunkt des initialen Traumas. So stellt Olsen fest, dass Patienten, die später als 40 Wochen nach dem initialen Trauma operiert werden, ein signifikant schlechteres Ergebnis (Constant Score) haben als die zu früheren Zeitpunkten operierten (Olsen 1995). Dies wird jedoch von anderen Autoren widerlegt. Ring versorgt auch Pseudarthrosen der Clavicula, deren initiale Frakturen 16 und 42 Jahren zurücklagen erfolgreich durch Osteosynthese und postuliert, dass die Heilung auch einer Claviculapseudarthrose unabhängig vom zeitlichen Abstand zum Primärtrauma ist, wenn nur die richtigen biologischen und mechanischen Verhältnisse bei der Revision der Pseudarthrose geschaffen werden (Ring 1997). Bei O'Connor zeigen die Patienten, die erst nach mehr als 12 Monaten operiert wurden sogar ein besseres funktionelles Endergebnis als diejenigen deren Claviculapseudarthrose in weniger als einem Jahr nach dem initialen Trauma versorgt wurde (O'Connor 2004).

Therapie der Claviculafraktur

Schlüsselbeinfrakturen, die das Risiko einer Claviculapseudarthrose-Entstehung beinhalten, werden hinsichtlich ihrer bevorzugten Therapie mit einer gewissen Unsicherheit mehr denn je kontrovers diskutiert. So stellt aktuell Brinker die eher zur konservativen Versorgung tendierende Haltung von Robinson in Frage und favorisiert eine großzügigere operative Indikationsstellung (Robinson 2004-1, Brinker 2005). Robinson bemerkt, anlässlich der Kommentierung der Kritik von Brinker, dass die funktionellen Vorteile einer frühzeitigen operativen Versorgung Pseudarthrose-gefährdeter Claviculafrakturen gegenüber der konservativen Therapie bis heute noch nicht substantiiert dargelegt wurden. Er sieht großen Bedarf hinsichtlich einer kontrollierten randomisierten Studie, um das funktionelle Ergebnis und die Komplikationsraten frischer Claviculafrakturen mit Pseudarthrose-Risiko zu vergleichen, die entweder operativ oder konservativ therapiert werden (Robinson in Brinker 2005).

Wie bereits in Abschnitt 4.2.2. als Ergebnis dargestellt, fällt die Differenzierung der Claviculapseudarthrose-Rate in Abhängigkeit der Therapie der traumatischen Claviculafraktur zu Gunsten der konservativen Therapie aus. In Tab. 4-36 wurde bereits deutlich gemacht, dass in der Entstehungsgeschichte von 339 von verschiedenen Autoren diagnostizierten Claviculapseudarthrosen durchschnittlich 8% keinerlei primäre Therapie

der Claviculafraktur erfahren hatten, während konservative als auch operative Therapien zu gleichen Anteilen von durchschnittlich jeweils ca. 46% durchgeführt worden waren. Somit erscheint die konservative Therapie nach diesen Daten eine Rate Claviculapseudarthrosen zu generieren, die der operativen Therapie ebenbürtig ist.

Die Gesamtauswertung der Daten aus den Studien und Fallberichten (vgl. Tab. 4-37) ergibt mit 70,3% einen deutlich höheren Anteil der konservativen Therapien an den zu Claviculapseudarthrosen führenden initialen Behandlungsformen. Der Anteil der Claviculapseudarthrosen, die aufgrund einer Nichtbehandlung der Claviculafraktur bedingt sind, liegt mit 6,3% vergleichbar mit der Literatursauswertung. Zu den operativen Therapien wurden nur die primärchirurgischen Eingriffe bei der Versorgung der Claviculafraktur herangezogen, wobei es sich bei mindestens 17 Fällen um Mehrfach-Operationen handelte. Darüber hinaus sind zusätzlich mindestens 33 sekundärchirurgische Eingriffe nach konservativer Initialbehandlung unter den 1248 zu Claviculapseudarthrosen führenden Claviculafrakturen zu verzeichnen. Bei den zu Claviculapseudarthrosen führenden konservativen Behandlungsformen wurde der Rucksackverband mit 64,1% relativ am häufigsten angewendet. Die Applikationsdauer des Rucksackverbands aber auch der Armschlinge variiert in einem weiten Bereich von jeweils 1 bis 24 Wochen.

Bei 169 der Patienten wurde die zur Claviculapseudarthrose führende Operationstechnik ausgewiesen (vgl. Tab. 4-40). Ältere Verfahren wie Cerclagen oder Drahtnähte der Claviculafraktur stellen hier den Hauptteil mit 37,9%. Aber auch aktuelle Verfahren wie die Plattenosteosynthese und die intramedulläre Fixierung lassen sich unter den chirurgischen Behandlungsformen von Claviculafrakturen finden, die zu einer späteren Claviculapseudarthrose führen.

Konservative Behandlung und Immobilisation der Claviculafraktur

Einige Autoren sehen die konservative Behandlung der Claviculafraktur als mitverursachend für die Claviculapseudarthrose an. Rowe gibt zu Bedenken, dass beim Anlegen und Tragen von Rucksack-Verbänden die Tendenz besteht, die Dislokation der Fragmente noch zu vergrößern, besonders dann, wenn die Haltegurte seitlich abrutschen (Rowe 1968). Auch Böhler (Böhler 1951) vertritt die Meinung, dass Claviculafrakturen ohne starke Verschiebung zweckmäßigerweise *ohne* Verband behandelt werden, da mit den verschiedenen Verbänden häufig mehr geschadet als genützt wird (Zirkulationsstörungen, Druckschädigungen der Nerve, Gelenkversteifungen). In diesem Sinne empfiehlt Mann auf der Basis von 101 Claviculafrakturen statt einer fixierenden Verbandanordnung (jedoch Rucksackverband für 1-2 Wochen) eine *sofortige* gelenkte aktive Bewegungsbehandlung und konstatiert, *„dass damit Pseudarthrosebildungen der Clavicula nicht zu befürchten sind“* (Mann 1969). Böhler vertritt bereits 1928 die Auffassung, dass durch zu frühe und zu heftige Verschiebung der Bruchenden, wie es z.B. bei verfrühter oder zu kraftvoller bis gewaltvoller postoperativer Mobilisierung der Fall sein kann, eine Dislokation der Callusmasse und eine Zerreißung der den Bruchspalt überbrückenden Blutgefäße (Kapillaren) in der Callusmasse stattfindet und es so zur Claviculapseudarthrose kommen kann (Böhler 1928, Galm 1935). Koch findet in seinem Patientengut einen erstaunlich hohen Anteil von Pseudarthrosenbildung nach konservativer Bruchbehandlung. In dem ihm vorliegenden Patientenmaterial erfolgte eine posttraumatische Ruhigstellung der Fraktur zwischen 3 und 6 Wochen. Bei 15 von 16 zur Pseudarthrose führenden konservativen Behandlungen wurde im Rucksackverband immobilisiert. Die diesbezügliche Pseudarthrosebildung erklärt Koch damit, dass eine exakte Ruhigstellung durch den Rucksackverband nicht zu erreichen ist, da gewisse Bewegungen, z.B. bei den Atemexkursionen trotz kräftigen Anziehens des Rucksackverbands noch möglich sind. Darüber hinaus stellt die unsachgemäße Handhabung des Rucksackverbands einen weiteren Faktor für die Pseudarthrosebildung dar, nämlich dann, wenn der Verband anfangs nicht täglich, später

alle 2 Tage kontrolliert und nachgezogen wird und somit es zur Auslockerung der Verbandsanordnung sowie zu einer Zunahme des Bewegungsausmaßes kommt. Nach Rüter liegen hinsichtlich der zu erwartenden Pseudarthrose nach Therapie mittels Rucksackverband keine sicheren Angaben an einem größeren Krankengut vor (Rüter 1982).

Hierholzer interpretiert die Entstehung der Pseudarthrose nach konservativer Therapie von Claviculafrakturen aufgrund der Distraction der Fragmente bei v.a. Bruchformen mit geringem knöchernen Kontakt, wobei in diesen Fällen in der Regel die hypertrophe Form entsteht (Hierholzer 1984). Ein Zusammenhang zwischen der Dauer der Immobilisierung und der Entwicklung einer Claviculapseudarthrose konnte wiederum Wilkins nicht sicher nachweisen (Wilkins 1983). Manske erkennt unter den prädisponierenden Faktoren zur Claviculapseudarthrose auch die Compliance des Patienten. In seinem Krankengut waren 6 von 10 Patienten nicht-compliant im richtigen Umgang mit ihrem Claviculaverband und der Restriktion von Aktivitäten (Manske 1985). Auch Kohaus sieht die Ursache bei der gescheiterten Osteosynthese einer Claviculafraktur unter Ausbildung einer Claviculapseudarthrose in einem nicht unbeträchtlichen Teil in der Gleichgültigkeit des Patienten mit undiszipliniertem Verhalten und angeblich häufigen Trunkenheitszuständen (Kohaus 1980). Eine mangelnde Compliance als mögliche Ursache einer Pseudarthrose der Clavicula wird von Hirschmann, die eine solche in ihrem Krankengut nicht vorfinden kann, dagegen kritisch beurteilt (Hirschmann 1992).

Auf Basis einer prospektiven prognostischen Studie (Level I-1) an 868 Patienten mit Claviculafrakturen beschreibt Robinson in seiner aktuellen Publikation die Prävalenz von Claviculapseudarthrosen sowie deren potentielle intrinsische und extrinsische Risikofaktoren. Mithilfe eines Vorhersagemodells kann nach Robinson das entsprechende Risiko eine Claviculapseudarthrose bei konservativer Frakturbehandlung zu erleiden, abgeschätzt werden (Robinson 2004-1). Als potentiell wirksame intrinsische (patientenbezogene) Risikofaktoren definiert er Alter, Geschlecht, Komorbidität, Tabakkonsum, Alkoholkonsum, Gehstrecke, Wohn- und Arbeitsverhältnis, anhängende Versorgungsansprüche und mentaler Zustand. Extrinsisch auf das Entstehungsrisiko einer Claviculapseudarthrose wirkende Einflussgrößen sind: Unfallmechanismus (Hochenergie/Niedrigenergie), Lokalisation der Fraktur (medial, diaphysär, acromial), Dislokation der Fragmente, Trümmerfraktur, intraartikuläre Beteiligung, neurologisches Defizit. Als unabhängige Risikofaktoren für die Claviculapseudarthrose kann er schließlich das fortgeschrittene Alter des Patienten, das weibliche Geschlecht sowie die Größe der Dislokation und das Vorhandensein eines Trümmerbruchs statistisch herausarbeiten (Robinson 2004-1). Brinker optimiert die Angaben von Robinson und kann damit die Pseudarthroseraten bei verschiedenen Claviculafraktur-Szenarien berechnen (Brinker 2005):

Tab. 5-02: Wahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose nach 6 Monaten bei diaphysären Claviculafrakturen in % (Robinson 2004-1, Brinker 2005)

Alter (J)	M	F	M Trümmerfraktur	F Trümmerfraktur	M disloz. Fraktur	F disloz. Fraktur	M disloz. Trümmerfraktur	F disloz. Trümmerfraktur
25	< 1	3	3	7	8	19	20	33
35	< 1	4	4	8	11	20	21	35
45	1	5	5	10	14	25	25	37
55	2	6	6	12	18	28	29	42
65	3	7	7	18	20	33	33	47

Als wesentliches Ergebnis seiner prospektiven Studie über die Risikoabschätzung eine Claviculapseudarthrose nach konservativer Frakturversorgung zu entwickeln, stellt Robinson auch fest, dass es vollkommen unklar ist, ob eine frühzeitigere chirurgische Intervention mit ihren potentiellen Risiken wie Infektion, Fixierungsversagen und persistierender Pseudarthrose ein vergleichsweise besseres Ergebnis als die traditionellen nichtoperativen Methoden erbringen würde. Demzufolge empfiehlt er eine prospektive, randomisierte, klinisch-kontrollierte Studie, um die Ergebnisse der konservativen und operativen Therapien der Claviculafrakturen statistisch vergleichbar zu machen (Robinson 2004-1).

Operative Behandlung der Claviculafraktur

Karitzky warnt generell vor operativer Behandlung der Claviculafraktur, weil *„das Risiko (der Operation) sich aber auch nirgends so wenig lohne wie bei Schlüsselbeinbrüchen ... denn selbst bei Heilungen in Fehlstellung oder sogar bei Pseudarthrosen seien die funktionellen Spätfolgen, wenn überhaupt, nur gering“* (Karitzky 1956). Günther betont, dass Unfallchirurgen sich bei der Indikationsstellung zur Versorgung der Claviculafraktur im klaren sein sollte, dass die Pseudarthroserate der Schlüsselbeinosteosynthesen in den meisten Kliniken höher als die der konservativen Behandlung ist (Günther 1980). Die Gesamtauswertung der Literaturangaben hinsichtlich der mittleren Claviculapseudarthrose-Rate in Abhängigkeit der Therapie der traumatischen Claviculafraktur weist nach konservativer Therapie (3,2%) eine geringere Pseudarthrose-Rate als nach den operativen Verfahren (5,4%) aus. In diesem Sinne geben Böhler, Neer, Baciú aber auch Schauwecker und Jäger als wichtigsten Faktor für die Entstehung einer Claviculapseudarthrose die operative Versorgung der Claviculafraktur bzw. deren fehlerhafte Technik an (Böhler 1941, Neer 1960, Baciú 1966, Schauwecker 1975, Jäger 1984). Auch Blömer, Hofmann bzw. Kuner postulieren, dass neben der biomechanisch inadäquaten Osteosynthese insbesondere die fehlerhafte Indikationsstellung die Hauptursache für die postoperative Pseudarthrosenbildung ist (Blömer 1980, Hofmann 1988, Kuner 1991).

Blömer macht als pathogenetische Faktoren der postoperativen Bruchheilungsstörungen der von ihm behandelten Claviculapseudarthrosen ausnahmslos insuffiziente Implantate im Sinne biomechanisch inadäquater Osteosyntheseverfahren und allzu großzügige oder fehlerhafte operative Indikationsstellung bei der Therapie der Claviculafraktur verantwortlich (Blömer 1977). Auch Bako führt die Pseudarthrosenbildung in seinem Krankengut auf die operative Technik der Versorgung der Claviculafraktur zurück. Bei Drahtumschlingungen kann das Reißen der Drahtschlinge, bei der Markdrahtung mit Kirschner-Draht die Biegung des schwachen Markdrahtes die Claviculapseudarthrose induzieren (Bako 1965). Kirschner-Drähte sieht auch Küntscher als zu dünn für eine stabile Versorgung einer Claviculafraktur an. Mit ihrer großen Bruchgefahr sind sie maßgeblich an der Pseudarthrosenentstehung beteiligt (Küntscher 1964). Nach Bruck ist bei der Versorgung der Fraktur mit Kirschner-Draht die Tatsache zu beachten, dass es bei jeder Frakturheilung zu einer Resorption an den Bruchenden von 1-3 mm kommt. Wenn nun der Kirschner-Draht die Annäherung der Bruchenden verhindert, so kann dies zur Verzögerung der Heilung bzw. zur Pseudarthrosebildung führen (Bruck 1957). Röding beobachtet als Pseudarthrosedisponierende Faktoren instabile Verhältnisse mittels Drahtcerclagen bei der Erstoperation oder die regelwidrige gleichzeitige Verwendung zweier verschiedener Osteosynthesematerialien (z.B. Kirschner-Bohrdrähte und Drahtcerclagen) bei der metallenen Osteosynthese (Röding 1962). Diese Erkenntnis beschreibt auch Leitl bei der operativen Versorgung von Claviculapseudarthrosen. Bei 2 von 28 verschiedenartig operierten Pseudarthrosen erhält er dann keinen knöchernen Durchbau, wenn eine intramedulläre Markdrahtung mit einer corticospongiösen Spanplastik (Spaninterposition) kombiniert wurde und die der Fraktur angelagerten Späne mit Drahtcerclagen versorgt wurden (Leitl 1987). Als Ursache für die Häufigkeit von Pseudarthrosen der Clavicula sieht Kuner die Osteosynthese mit falscher Technik: Cerclagen, Spickdrähte, Markraumschienung (Kuner 1979). Wang rät von

der Verwendung des Steinmann-Nagels ab, nachdem er zwei Claviculapseudarthrosen bei der Versorgung von 20 Claviculafrakturen mit dieser Technik erhält (Wang 1990). Auch Herbsthofer definiert Verfahren wie Cerclagen und Markraumschienung mit Rush-Pins, dicke Kirschnerdrähte oder Hagie-Pins wegen zu hoher Inzidenz von Pseudarthrose-Bildungen als obsolet (Herbsthofer 1994).

Primär wie sekundär instabile Osteosynthesen begünstigen das Angehen einer Infektion. Diese ist bei 4 von 9 Patienten an der Ausbildung einer atrophischen Pseudarthrose beteiligt (Scholze 1973). Weitere pathogenetische Faktoren für die chirurgisch (mit)verursachte Claviculapseudarthrose sind neben den Infektionen auch knöcherne Devitalisierung beim operativen Eingriff, verletzungs- und operationsbedingte Durchblutungsstörungen sowie Instabilität nach Osteosynthesen (Hierholzer 1984).

Primäre Plattenosteosynthesen sind technisch anspruchsvoll und führen trotz subtiler Technik häufig zu Pseudarthrosen (Schauwecker 1975, Niemeier 1990). Bei Poigenfürst waren alle Claviculapseudarthrosen in seinem Patientengut mit Hardware-Mängeln assoziiert. Bei insgesamt 4 Pseudarthrosen, die aus plattenosteosynthetischer Therapie resultierten, stellte er 1 Plattenlockerung, 1 Plattenverbiegung und 2 Plattenbrüche fest (Poigenfürst 1988). Auch in einer späteren Studie attribuiert er die Ursache von insgesamt 5 Claviculapseudarthrosen allesamt den technischen Mängeln der Plattenosteosynthese: 4 Plattenbrüche, 1 Plattenlockerung (Poigenfürst 1992). Schwarz macht für die Pseudarthrosenbildung den Einsatz zu kurzer Platten verantwortlich (Schwarz 1992).

Die vergleichsweise hohe Zahl von Pseudarthrosen von durchschnittlich ca. 5,4%, teilweise von bis zu 45% nach *operativen* Eingriff kann zum einem an technischen Mängeln bei der Operation liegen, jedoch ist auch zu berücksichtigen, dass in der operativ behandelten Patientengruppe der Anteil mit höherem inherentem Pseudarthrosenerisiko möglicherweise höher ist als in der Vergleichsgruppe der konservativ behandelten Claviculafrakturen (Simpson 1996). Sadiq mutmaßt, dass die primäre Rolle bei der zunehmenden Inzidenz der Claviculapseudarthrose eher der zu geringen internen Fixierung (z.B. Plattenosteosynthesen von Bostmann 1991) als der Operation selbst zuzuschreiben ist (Sadiq 2001). Als IMPP-Basiswissen (vgl. Kommentar zum STEX 2, Frage 3/2000-339) gilt: Nach Osteosynthese mit unzureichender Stabilisierung kommt es häufig zur Pseudarthrosenbildung nach einer Claviculafraktur !!

Einschränkend ist zu sagen, dass sich nicht immer aus den Krankenakten und den Studien erkennen lässt, ob die Voroperation kurz nach dem Unfall erfolgte oder ob erst konservativ therapiert wurde und dann wegen verzögerter Callusbildung die Operationsindikation gestellt wurde.

Refraktur

Yates, Johnson bzw. Wilkins beobachteten, dass zahlreiche Claviculapseudarthrosen nach Refraktur einer zuvor ausgeheilten Claviculafraktur entstehen. Wilkins sieht bei 22,6% (7 von 31) Pseudarthrosen der Clavicula die Ursache in einer Refraktur (Johnson 1963, Yates 1976, Wilkins 1983). Andererseits ist aber nicht bekannt, wie hoch die Wahrscheinlichkeit einer Claviculapseudarthrose nach einer Refraktur wirklich ist (Klonz 2002).

5.4. Therapie der Claviculapseudarthrose

Während aus unfallchirurgischer Sicht die Claviculafraktur eine eher unproblematische Fraktur darstellt (Rabenseifner 1981), erweist sich die Claviculapseudarthrose oft als sehr schwieriges Problem (Pyper 1978). Grundsätzlich ergibt die Analyse der Publikationen hinsichtlich der adäquaten Therapie bei Claviculapseudarthrosen, dass asymptomatische und gering symptomatische Claviculapseudarthrosen unbehandelt bleiben oder konservativ behandelt werden können, während bei deutlich symptomatischen Pseudarthrosen die operative Versorgung indiziert ist. Die Auswertung der Studien und Fallberichte, bestätigt diese Aussage, da keine der Studien ein konservatives Vorgehen zum Ziel hat, sondern sich jede auf eine chirurgische Versorgung der Claviculapseudarthrose stützt.

Tatsächlich gibt es bis zum heutigen Tage jedoch unter den Unfallchirurgen große Meinungsunterschiede was die adäquate Therapie der Claviculapseudarthrose anbetrifft (Boyer 1997), was mitunter auch zu bemerkenswerten streitigen Auseinandersetzungen in der Literatur führt (Manske 1985, Dolin 1986). Das optimale Therapieverfahren ist somit weiterhin umstritten. Die nachfolgende aktuelle Fallschilderung von Momberger beschreibt eine aktuelle, nicht untypische leidvolle Krankengeschichte einer Patientin nach Claviculafraktur (Momberger 2000) und verdeutlicht damit die Problematik der geeigneten Therapie der Claviculapseudarthrose:

„Eine 19-jährige Frau erlitt nach einem Sturz auf die Schulter eine dislozierte Fraktur des mittleren Drittels der ipsilateralen Clavicula. Nach geschlossener Reposition, wurde ihr ein Rucksackverband angelegt. 4 Monate nach dem Unfall zeigten sich jedoch keinerlei Anzeichen einer Knochenheilung. Deshalb wurde der Bruch offen reponiert und mit einer Drittelrohrplatte und Beckenkamm-Knochenplastik versorgt. Nach weiteren 9 Monaten wurde die Platte wegen persistierender Nichtheilung entfernt und eine Kompressionschraube an der Stelle der Claviculapseudarthrose eingebracht. Da sich auch nach weiteren drei Monaten keine Anzeichen einer Knochenkonsolidierung ergaben, wurde die Schraube entfernt und eine erneute Osteosynthese mit einer Kompressionsplatte und Knochenplastik unternommen. 15 Monate nach dieser Operation wurde eine zweite Platte mit Drahtumschlingung hinzugefügt. Nach einer kurzzeitigen Besserung mussten aufgrund einer erneuten schmerzhaften Schulterverletzung und einer weiter fraglichen Knochenheilung die Platten entfernt werden. Alternativ implantierte man der Patientin einen intramedullären Nagel. Zwei Jahre später war die Patientin immer noch schmerzhaft und beklagte sich über das Hervorstehen des intramedullären Nagels. Nach Entfernen des Nagels wurde die Osteosynthese durch ein vaskularisiertes Fibula-Transplantat und eine 9-Loch-DC-Platte versucht. Der anschließende Heilungsverlauf war gut. Dennoch musste der Patientin die Platte aufgrund deren Prominenz im Sinne eines bei jungen Frauen nicht akzeptablen kosmetischen Mangels vorzeitig entfernt werden“.

5.4.1 Qualität der Studien

Die bisherigen Studien und Darstellungen zur operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose sind sehr kritisch zu betrachten. Sie enthalten zahlreiche kontroverse aber auch widersprüchliche Angaben. Oft gehen sie von unterschiedlichen Annahmen und Definitionen, wie z.B. einer unterschiedlichen zeitlichen Definition der Claviculapseudarthrose aus. Die meisten Studien zur operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose sind retrospektive Arbeiten und beinhalten ausnahmslos nur eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Patientenfällen, die noch dazu nur über einen relativ großen Zeitraum von vielen Jahren erfasst werden konnten. Darüber hinaus werden in einer Vielzahl von Studien verschiedene operative Techniken angewandt, was die Bewertung der Vor- und Nachteile eines einzelnen chirurgischen Verfahrens schwierig bis unmöglich macht (Fontaine 1984, Olsen 1995). Häufig wurden die operativen Eingriffe innerhalb ein und derselben Studie an verschiedenen Krankenhäusern, durch verschiedene Chirurgen und mit teilweise unterschiedlicher individueller Ausführungstechnik durchgeführt. Aufgrund der angeblich verhältnismäßig geringen Inzidenz der Claviculapseudarthrosen ist nach Davids die Durchführung von prospektiven Monocenter-Studien zum Vergleich unterschiedlicher

Behandlungsmethoden für die Claviculapseudarthrose nahezu unmöglich (Davids 1996). Es gibt nur wenig Informationen in der Literatur, die sowohl dem Therapeuten als auch dem Patienten Rat geben könnten über den Nutzen und die Risiken bei der operativen Therapie von Claviculapseudarthrosen, was besonders für die technisch herausfordernden Frakturen des lateralen Claviculadrittels gilt. Die operative Versorgung der Claviculapseudarthrose ist nach Der Tavitian ein vergleichsweise seltenes chirurgisches Verfahren und die meisten klinischen Chirurgen verfügen nicht über ausreichende persönliche Erfahrung, um dem Patienten eine profunde Auskunft über die richtige Operationstechnik zu geben. Auch gibt es kaum prospektive Studien und kaum randomisierte Bewertungen verschiedener Eingriffsvarianten (Der Tavitian 2002). Die Vergleichbarkeit der postoperativen Situation nach Therapie der Claviculapseudarthrose wird auch dadurch erschwert, dass die Autoren ihre Ergebnisse zu unterschiedlichen und oft nach zu kurzen Follow-Up-Zeiten ermitteln und oft nicht zwischen den postoperativen Symptomen der ersten und der folgenden bzw. der abschließenden Nachbeobachtung differenziert wird (O'Connor 2004), was die vorliegende Ausarbeitung bestätigen kann. O'Connor beanstandet zu Recht, dass in der Literatur nur selten Informationen berichtet werden, die sich auf die Langzeit-Ergebnisse der Schulter- und Extremitätenfunktion beziehen. Kaum eine dieser Studien hat bisher eine validierte, reproduzierbare und zuverlässige Bewertungsmethode angewendet. Vielmehr identifizieren die meisten Studien die erfolgte Knochenheilung und Schmerzfreiheit als Endpunkte der Behandlung und des Follow-Up (O'Connor 2004). Er selbst führt in dieser Erkenntnis eine detaillierte Langzeit-Bewertung seines Patientenguts auf statistischer Basis durch (Student's t-test, Mann-Whitney U-test, DASH-Score, SF-36-Score).

5.4.2. Einflussgrößen auf den Therapieerfolg

Die Einflussgrößen auf eine erfolgreiche Operation einer Claviculapseudarthrose sind zahlreich und bestimmen jede für sich aber auch im komplexen Zusammenspiel den Heilungserfolg und die postoperativen Komplikationen und Symptome. Die wesentlichen Parameter für den Therapieerfolg sind: Art des Initialtraumas, Art der Claviculapseudarthrose, Art des operativen Verfahrens, Verwendung von Knochenplastik, Ausführung der Operation (u.a. Positionierung der Platte, Entfernung von Periost-/Weichteilgewebe, Öffnung des Knochenmarkkanals, Läsionen von Nerven und Gefäßen), Dauer und Art der postoperativen Immobilisation und Übungsmaßnahmen, Invasivität der Metallentfernung

5.4.3. Therapieoptionen der Claviculapseudarthrose

5.4.3.1. Allgemeines

Die erfolgreiche Behandlung der posttraumatischen Claviculapseudarthrose stellt eine besondere und schwierige Herausforderung für den Unfallchirurgen dar. Dies liegt zum einen an der technischen Schwierigkeit eine adäquate Skelett-Stabilisierung sicherzustellen andererseits an den einzigartigen anatomischen Gegebenheiten der Clavicula (Simpson 1996).

5.4.3.2. Konservative oder operative Therapie

Eine asymptomatische oder schmerzfreie Claviculapseudarthrose bedarf selten einer Therapie, solange keine neurovaskulären Symptome vorhanden sind (Enneking 1999). Asymptomatische oder geringsymptomatische Claviculapseudarthrosen können von den

Patienten toleriert werden (Abbott 1954, Sakellarides 1961, Johnson 1963, Rowe 1968). In diesem Sinne lässt auch Hargan seine Patientin mit einer schweren beidseitigen, aber symptomarmen Claviculapseudarthrose unoperiert (Hargan 1981). Jedoch werden bei einigen Patientenkollektiven, z.B. Sportlern (Profis oder Hobby) mit einem hohen Level an Aktivität selbst kleinste Einschränkungen der Schulterfunktion nicht hingenommen und dem Drängen der Patienten nach operativer Wiederherstellung muss nachgeben werden (Wentz 1999).

Falls die Symptomatik nicht zu schwerwiegend oder gar nicht vorhanden ist, empfiehlt Johnson als Ergebnis einer 22-jährigen Studie mit 47 Patienten die konservative Behandlung der Claviculapseudarthrose in Form von Physiotherapie wie z.B. Wärme, Massage, Bewegungsübungen oder Schulter-Kräftigungsübungen. Allerdings stehen seinen 23 ‚exzellenten‘ Ergebnissen 21 Fälle ohne Beschreibung sowie ein gänzlich fehlende Beschreibung des Symptomverlaufs gegenüber (Johnson 1963, Bradbury 1996). Aufgrund der möglichen, mitunter ernsthaften Komplikationen (persistierende Pseudarthrose mit Schmerzen, Refrakturen, Implantatversagen mit Reoperation) bei chirurgischen Verfahren sowie der Tatsache, dass Patienten z.B. mit atrophischer Pseudarthrose nach einer gewissen Zeit asymptomatisch werden können, wird auch von Wilkins ein operatives Vorgehen zur Behandlung der Claviculapseudarthrose nur nach sorgfältiger Prüfung der Indikation empfohlen (Wilkins 1983). Als konservative Methode steht auch andere Verfahren, wie z.B. die elektrische Stimulation zur Verfügung (vgl. Kap. 5.4.3.5.). Allerdings gibt es dazu nur wenige Studien und sie spielt keine wichtige Rolle (Brighton 1987, Sadiq 2001).

Die Mehrheit der Autoren vertritt jedoch die Ansicht, dass bei einer pseudarthrotisch verheilten Clavicula eine Ausheilung lediglich durch operative Maßnahmen zu erzielen ist (Koch 1971, Rabenseifner 1981). Dies gilt vor allem, wenn Schmerzen oder neurovaskuläre Läsionen gegeben sind (Boyer 1997). In diesem Sinne wurden bereits im Jahre 1960 auch durch die Arbeitsgemeinschaft Osteosynthesefragen (AO) unter Modifizierung bis heute gültige Richtlinien für die Behandlung der Claviculafraktur und der Claviculapseudarthrose aufgestellt (Müller 1970, Müller 1991, Müller 1992, Texhammer 1995, Rüedi 2003).

5.4.3.3. Indikationen zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose

Die meistgenannten Indikationen zur Durchführung der Therapie der Claviculapseudarthrose entsprechen deren häufigsten Symptome: persistierende Schmerzen, Einschränkung der Beweglichkeit, Kraftminderung im Arm, Kompression neurovaskulärer Strukturen und kosmetische Probleme. Die Indikation kann jedoch auch nach radiologischen Kriterien gestellt werden, wenn nach Monaten konservativer Therapie die Heilung ausbleibt und die Frakturenden abgerundet sowie dehiszent sind (Kölliker 1989, Browner 1992). Umgekehrt ist zu beachten, dass aus dem röntgenologischen Nachweis einer Claviculapseudarthrose allein sich noch *keine* Indikation zur operativen Behandlung ergibt (Hierholzer 1984). In einigen Fällen spielen auch andere individuelle Indikationen, wie z.B. Arbeitsunfähigkeit bei Schwerarbeitern oder Sportunfähigkeit bei Profisportlern eine Rolle.

Leider lassen sich innerhalb der Studien und Fallberichte der operativen Therapie der Claviculapseudarthrose in der Regel keine direkten auf den jeweiligen Fall bezogene Indikationen identifizieren. Indirekte Hinweise auf die vermutliche OP-Indikation lassen sich ersatzweise aus dem jeweiligen Symptomenbild der Patienten erhalten.

Klare OP-Indikationen sind auch Komplikationen, die auf die Claviculapseudarthrose zurückgeführt werden können, z.B. Armplexusirritationen, Einengung der Subclaviagefäße (Rabenseifner 1981). Annersten sieht die Kompression des Plexus brachialis als Hauptindi-

kation für die offene Reposition der Claviculapseudarthrose an, wobei ein überschießender Callus, der auf den Plexus drückt, reseziert wird (Annersten 1948).

Eine OP-Indikation ist in der Regel nur bei deutlichem Beschwerdebild gegeben. Allerdings können bei Frauen und Angehörigen bestimmter Berufe eine Asymmetrie des Schultergürtels, eine auffällige Fehlstellung oder eine Wulstbildung durch Callus Bedeutung bekommen. Der kosmetische Gesichtspunkt ist im Auge zu behalten, auch hinsichtlich der mit dem Patienten zu besprechenden Operationsnarbe (Hierholzer 1984). Entsprechende Erfahrungen macht auch Neer, dessen weibliches Patientenkollektiv die Operation der Claviculapseudarthrose überwiegend aus kosmetischen Gründen wünscht (Neer 1960).

Eine weitere Indikation zur Osteosynthese stellt die Reosteosynthese bei ausbleibender Heilung nach primärer operativer Versorgung dar. Hatte schon einmal eine Osteosynthese des Schlüsselbeins stattgefunden, führte sie aber nicht zur knöchernen Heilung des Bruches, so ergibt sich die Indikation zur Reosteosynthese nicht nur aus dem Zweck der Wiederherstellung der Einheit des Knochens, sondern auch aus der Notwendigkeit, das wirkungslos gebliebene Osteosynthesematerial aus dem Körper zu entfernen. Im Gegensatz zur funktionell nicht störenden Pseudarthrose, die belassen werden kann, muss alloplastisches Implantatmaterial, wie an jeder anderen Körperstelle, auch hier als Fremdkörper mit allen diesem zukommenden Eigenschaften (Wanderung, Druckschädigung, Implantatbruch) angesehen und daher entfernt werden (Probst 1970).

Als *Kontraindikationen* zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose werden in der Literatur genannt: schlechter Allgemeinzustand, hohes Alter, fortgeschrittene Osteoporose, schlechte Hautverhältnisse, ablehnender Patientenwunsch (Hansis 1989). Auch wird eine Claviculapseudarthrose-Korrektur nicht von allen Patienten gewünscht, selbst wenn sie klinisch indiziert ist aber der Patient sich mit den Beschwerden arrangiert, wie es z.B. bei 7 von 18 Patienten bei Neer der Fall ist (Neer 1960).

5.4.3.4. Operative Therapieformen der Claviculapseudarthrose

5.4.3.4.1. Allgemeines

Im Prinzip erfolgt die operative Behandlung der Claviculapseudarthrose nach den gleichen Grundsätzen wie die der frischen Frakturen. Da es sich jedoch um unterschiedlich gealterte und primärtherapierte Läsionen handelt, ist ggf. zusätzlich die Handhabung der Primärnarbe, die Entfernung von chirurgischem Material, eine sparsame Resektion der Fragmentenden, die Entfernung von avitalem Gewebe und eine plastische Rekonstruktion mit autologem Knochenmaterial zu berücksichtigen. Es gibt dazu eine Vielzahl von operativen Therapieformen, die zur Versorgung der Claviculapseudarthrose eingesetzt wurden und werden (Boyer 1997). Zu den Optionen gehören Osteosynthesen (Platten, intramedulläre Drahtstifte, Nägel oder Schrauben, interfragmentäre Schraubenfixation, Drahtnaht und Drahtcerclagen, Fixateur externe, Spanimplantation), Resektionen (Voll- und Teilresektionen der Clavicula), ergänzende Verfahren (Spongiosaanlagerung, Knochenwachstum-stimulierende Faktoren und Materialien, physikalische Verfahren (z.B. Ultraschall-, Elektrostimulation)).

Die verschiedenen chirurgischen Manöver zur Behandlung der Claviculapseudarthrose lassen sich dabei grundsätzlich in zwei Hauptkategorien unterteilen (Simpson 1996): Rekonstruktive Verfahren und resektive Verfahren (Salvage Procedures).

Die Plattenosteosynthese ist - entsprechend der Auswertung von 158 Studien mit 1569 Patienten - das bei Claviculapseudarthrose mit 43,8% (Tab. 4-45) häufigste im Gesamtzeitraum angewandte Verfahren, wobei ihr Anteil im Zeitraum der letzten 10 Jahre mit 68,2% (Tab. 4-46) noch weiter zugenommen hat. Ergänzt durch den nicht genau bestimmbar Anteil der Plattenosteosynthesen, der sich innerhalb der Studien befindet, die verschiedene Verfahren ausweisen, ermittelt sich ein Anteil der Plattenosteosynthesen von heutzutage über 80%. Intramedulläre Fixationen kommen mit ca. 10-15% zum Einsatz. Der Anteil anderer rekonstruktiver bzw. resektiver Techniken spielt aktuell kaum eine Rolle.

Nach Boehme gibt es derzeit *keinen Konsens* der Unfallchirurgen über die beste Therapie der Claviculapseudarthrose. Sie sieht die offene Reposition und interne Fixation mit Plattenosteosynthese und Knochenplastik zwar als ‚populär‘ an, beschreibt aber mit der favorisierten Verwendung der intramedullären Nagelung ein mindestens so geeignetes Verfahren mit deutlichen Vorteilen (Boehme 1991). Auch Davids stellt fest, dass es keine Übereinkunft für die *optimale* operative Therapie der Claviculapseudarthrose gibt (Davids 1996). Viele der Autoren berichten über hohe Knochenheilungsraten bei den diversen Verfahren, wobei alle Techniken bisher mit Komplikationen und Reoperationen assoziiert sind (Kloen 2002).

Mehrere Anforderungen stehen bei der Claviculaosteosynthese bei Claviculapseudarthrosen - neben der Notwendigkeit der knöchernen Durchbauung in anatomischer Position - im Vordergrund: der operative *Zugang*, die Wiederstellung der *Claviculalänge* und die einwandfreie *Stabilität* der Osteosynthese (Steffelaar 1974, Jones 2000). Die Wahl einer entsprechenden Inzision ist für eine gute Übersicht entscheidend. Das Osteosynthesematerial darf nicht unter der Inzision liegen und die Narbe muss in diesem ‚exponierten‘ Gebiet unauffällig werden. Einige Autoren sind der Meinung, dass die lappenförmigen Längsinzisionen in der Achse der Clavicula diesbezüglich unbefriedigend sind und meist zu hypertrophischen Narben und Keloiden führen. Steffelaar bevorzugt deshalb eine sagittale (vertikale) Inzision, welche die Clavicula auf Höhe der Pseudarthrose kreuzt (Steffelaar 1974). Hinsichtlich der kutanen Inzision wird auch von Karaharju die vertikale Schnittführung gegenüber der zur Clavicula parallelen bevorzugt, um eine (nicht weiter quantifizierte) Läsion kutaner Nerven zu vermeiden und ein besseres kosmetisches Ergebnis herbeizuführen (Karaharju 1982). Dies gilt insbesondere bei nicht voroperierten Patienten (Kölliker 1989).

Operationstechnisch zu beachten ist, dass während die Clavicula normalerweise leicht zugänglich ist, sich bei der Claviculapseudarthrose die Freilegung mitunter schwieriger und manchmal auch nicht ganz ungefährlich gestaltet, wenn Narbenverziehungen die natürliche anatomische Zuordnung benachbarter Organe verändert haben. Dies gilt vor allem für *Reosteosynthesen*, da ein anoperiertes Schlüsselbein nur beschränkte Möglichkeit für eine erneute Osteosynthese bietet. Denn der ohnehin gewundene Markraum ist oft verlegt, der für eine Knochenspananlagerung zur Verfügung stehende Platz ist infolge Narbenbildungen knapp, die Nähe eines der beiden Schlüsselbeingelenke kann hinderlich sein, vor allem ist oft die gewebliche Festigkeit des atrophischen Knochens herabgesetzt (Probst 1970). Verschiedene Autoren betonen die Bedeutung der Wiederherstellung der normalen Länge der Clavicula, da Verkürzungen zur Abduktionsschwäche des Arms und zu erhöhten wirksamen Kräften auf die Frakturstelle wirken können (Eskola 1986-1, Jupiter 1987, Olsen 1995). In diesem Sinne werden zur Wiederherstellung der normalen Claviculalänge von vielen Chirurgen Interpositionen von autologem Knochenmaterial (z.B. Beckenkamm-Späne) vorgenommen (vgl. Kap. 5.4.3.5.1). Die Stabilität der Osteosynthese ist Voraussetzung für eine komplikationslose, rasche Knochenheilung und für die funktionelle Wiederherstellung des Schultergelenkes. Dabei ist auf die erheblichen Scher- und Torsionskräfte, welche auf die Fragmente einwirken, zu achten (Steffelaar 1974). Zu

beachten ist, dass die Kontur der Clavicula zusammen mit den Muskelkräften, die auf die Frakturfragmente wirken, jede Art von Osteosynthese-Implantat unter große Spannung setzen. Zudem führt die Clavicula beträchtliche Bewegungen in drei Ebenen aus, während sie der Zug der starken Muskeln in die Gegenrichtung zwingt. Da einige der operativen Therapieformen, wie z.B. die intramedulläre Fixierung die Clavicula-Rotation kaum kontrollieren können, ist weder eine Naht- noch eine Schraubenfixation alleine ausreichend sondern durch zusätzlichen Schutzmaßnahme oder verlängerte postoperative Immobilisation zu ergänzen (Sadiq 2001).

5.4.3.4.2. Plattenosteosynthesen

Plattenosteosynthesen mit oder ohne Verwendung von Knochenplastiken sind vereinzelt bereits vor 80 Jahren (z.B. Mouchet 1929), vor allem jedoch in den letzten 50 Jahren verhältnismäßig häufig durchgeführt worden und derzeit die meist akzeptierteste Technik mit überwiegend guten Resultaten (Franke 1964, Tregonning 1976, Weber 1976, Edvardsen 1977, Joukainen 1977, Thompson 1977, Pyper 1978, Rabenseifner 1981, Karaharju 1982, Wilkins 1983, Manske 1985, Eskola 1986-1, Jupiter 1987, Lipton 1988, Connolly 1989, Jupiter 1989, Post 1989, Craig 1990, Mullaji 1994, Pedersen 1994, Bradbury 1996, Davids 1996, Ebraheim 1997, Wu 1998, O'Connor 2004).

Die Verwendung von Platten zur Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen findet sich in der Literatur, in den ausgewerteten Studien und Fallberichten vor allem in den letzten 10 Jahren mit über 80% sehr häufig. Auch die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese (AO) empfiehlt bei der schmerzhaften bzw. störenden Pseudarthrose der Clavicula die Verplattung, wobei der meist hypertrophe Callus etwas abgetragen werden muss, um das Anlegen der Platte zu gestatten (Müller 1992). Eine der größten veröffentlichten Studien zur Plattenosteosynthese von symptomatischen Claviculapseudarthrosen anhand von 37 Patienten und deren Langzeitergebnisse wurde von Ballmer vorgelegt (Ballmer 1998).

Tab. 4-48 verdeutlicht die heterogene Struktur der Studien. Bei lediglich 46 Studien kam ein einheitliches Plattenmaterial zum Einsatz. Hinsichtlich der Häufigkeit der verwendeten Platten-Typen zeigt sich mit 47,9% eine eindeutige Dominanz der Rekonstruktionsplatten vor den DCP mit 26,3% bei der Auswertung der gesamten 71 Studien und Fallberichte zur Therapie der Claviculapseudarthrose mittels Plattenosteosynthese. Betrachtet man nur den Anteil der 46 monomodalen Studien (Tab. 4-49), so behandelt die Mehrzahl der Studien (34,8%) die Verwendung der DCP und 26,1% die der Rekonstruktionsplatte.

Drittelrohrplatten werden aufgrund ihrer hohen Versagensquote heutzutage nicht mehr eingesetzt (Sadiq 2001). Plattentypen wie die Halbrohr-Platte bzw. die Meves-Platte (vorgebogene Halbrohr-Platte) und die Balser-Platte finden eher selten Verwendung, während heutzutage noch teilweise die dynamische Kompressionsplatte (DCP), jedoch immer häufiger die Reko(nstruktions)-Platte und die LCDC-Platte (Limited contact dynamic compression plate) bei der Osteosynthese der Claviculapseudarthrose zum Einsatz kommen.

Vorteile und Erfolge der Plattenosteosynthese

Die wesentlichen Vorteile der Versorgung von Claviculapseudarthrosen (vgl. Tab. 4-52) mit Plattenmaterial und Schrauben z.B. gegenüber der intramedullären Nagelung beinhalten die exzellente Rotationskontrolle und die Möglichkeit, die normale Länge der Clavicula wiederherzustellen (Rabenseifner 1981, Jones 2000). Die Vorteile der Plattenosteosynthese gegenüber intramedullären Techniken sind auch beschrieben bei Thompson 1977, Pyper 1978, Jupiter 1987, Davids 1996. Der erfolgreiche Einsatz von Kompressions-

platten zusammen mit Spongiosaplastiken und frühzeitiger Mobilisierung wurde erfolgreich von Jupiter, Bradbury, Eskola, Manske und Olsen gezeigt (Jupiter 1987, Bradbury 1996, Eskola 1986-1, Manske 1985, Olsen 1995, Enneking 1999). Ein entscheidender Vorteil der Plattenverschraubung ist damit auch, dass sofort die Übungsbehandlung (aktive Bewegungsübungen, Widerstandsübungen, Schwimmen, Gruppenbehandlung, funktionelle Beschäftigungstherapie) aufgenommen und damit zusätzlicher Schaden für die benachbarten Gelenke sowie für die Armmuskulatur vermieden werden kann. Das stationäre Heilverfahren kann kurz gehalten werden, wenn die Möglichkeit zur ambulanten Behandlung besteht. Bei vernünftigem Verhalten des Patienten kann dieser alsbald mit Anleitungen zu Selbstübungen nach Hause entlassen werden (Probst 1970). Vielerorts werden Übungsbehandlungen heutzutage häufig in den ersten 6 postoperativen Wochen auf 60° Abduktion bzw. Elevation beschränkt (Pieske 2005).

Eskola verwendet in seiner Studie die Plattenosteosynthese bei 18 von 24 Claviculapseudarthrosen, wobei sich eine Gesamtheilungsrate von 92% und ein beschwerdefreier Patientenanteil von 71% ergibt. Bei der einzigen persistierende Pseudarthrose wurde bei der chirurgischen Versorgung keine Spongiosaplastik verwendet (Eskola 1986-1, Ballmer 1998). Jupiter versorgt 16 von 19 (=84%) erfolgreich durch Plattenosteosynthese, wobei 76% der Patienten letztendlich beschwerdefrei waren (Jupiter 1987, Ballmer 1998). Olsen berichtet über eine Knochenheilungsrate von 94% beim Einsatz der Plattenosteosynthese mit Spongiosaplastik (Olsen 1995, Ballmer 1998). Simpson sieht die Plattenosteosynthese als geeignetste Methode der Claviculapseudarthrose-Versorgung an, da hierbei mit einer sofortigen postoperativen Mobilisation begonnen werden kann (Simpson 1996). Ebraheim versorgt 15 von 16 (=94%) Claviculapseudarthrosen mit Plattenosteosynthese und Knochenplastik erfolgreich (Ebraheim 1997). Marti fasst Plattenosteosynthesen mit einer Knochenheilungsrate von 89-100% aus der Literatur (Ballmer, Bradbury, Davids, Ebraheim, Edvardsen, Jupiter, Laursen, Manske, Mullaji, Olsen) zusammen (Marti 2003).

Nachteile der Plattenosteosynthese

Als Nachteile der Plattenosteosynthese bei der Therapie von Claviculapseudarthrosen (vgl. Tab. 4-53) werden die Notwendigkeit einer weiten Eröffnung der Operationsstelle und die vermehrte Entfernung von periostalem und Weichteil-Gewebe, was die Blutversorgung der Clavicula reduzieren kann, angesehen. Ebenso nachteilig sind die potenzielle intraoperative Verletzung neurovaskulärer Strukturen, die subkutane oberflächennahe Positionierung der Platte, was zu kosmetisch störender Prominenz und Hautirritationen führen kann sowie die notwendige operativ-invasive Entfernung der Platte, die ein erhöhtes Refraktur-Risiko mit sich bringt (Jones 2000, Nowak 2001).

Die Anbringung der Platte oberhalb der Clavicula führt häufig zur Prominenz unterhalb der Haut und kann Hautirritationen und Blasenbildung erzeugen. Dies ist besonders ungünstig bei Personen, die schwere Gewichte auf ihren Schultern tragen müssen (z.B. Rucksäcke bei Soldaten, Feuerwehrleute, Bergführern), verschwindet in der Regel aber nach Entfernung der Platte, sobald die knöchernen Heilung erfolgt ist (Edwards 1999).

Weiterhin gefährdet oder verletzt die Lockerung und das Hervortreten/Vordringen der Platte und der Schrauben die Unversehrtheit der Haut und führt zu einer Instabilität der Osteosynthese. In einigen Fällen kann eine Implantatlockerung durch vorübergehende Immobilisation ‚abgefangen‘ werden. Meistens erfordert sie jedoch eine erneute Osteosynthese mit längerer Platte (Schienungseffekt) und noch weiterer Weichteilablösung. Darüber hinaus schwächen die Schraubenlöcher den Knochen, so dass eine Refraktur begünstigt wird und zusätzliche Schutzmaßnahmen nach der Hardware-Entfernung notwendig werden (Hansis 1989, Proubasta 1999).

Die Plattenosteosynthese erfordert als Nachteil der Methode häufig eine Entfernung des Implantats und damit eine zweite Operation in Vollnarkose bei ca. 10-30% der so behandelten Patienten (Bradbury 1996, Sadiq 2001). Auch Hoe-Hansen sieht bei der gebräuchlichen Methode der Plattenosteosynthese den Nachteil in der Notwendigkeit der Plattenentfernung aufgrund von Plattenlockerung, Missempfindungen oder aus kosmetischen Gründen (Jupiter 1987, Bradbury 1996, Hoe-Hansen 2003). Jones sieht das Potential zur Refraktur nach Plattenentfernung - ohne weiteren zahlenmäßigen Nachweis - als erhöht an, da sich unterhalb der Platte osteoporotische Zonen sowie Spannungsrisse an den leeren Schraubenlöchern bilden können (Jones 2000). Der Patient ist darauf aufmerksam zu machen, dass sich eine Refraktur durch die Schraubenlöcher ergeben kann solange die Löcher im Knochen nicht ausgeheilt sind (Post 1989).

Vor- und Nachteile einzelner Plattentypen

Während Drittelrohrplatten aufgrund ihrer hohen Versagensquote heutzutage nicht mehr eingesetzt werden (Sadiq 2001), finden Plattentypen wie die Halbrohr-Platte bzw. die Meves-Platte (gebogene Halbrohr-Platte), die Balsler-Platte und die Dynamische Kompressionsplatte (DCP) eher selten, jedoch häufig die Rekonstruktionsplatte (Reko-Platte) und die LCDC-Platte (Limited contact dynamic compression plate) bei der Osteosynthese der Claviculapseudarthrose Verwendung.

Dynamische Kompressions-Platte (DC-Platte)

Die Plattenosteosynthese mit offener Reposition (open reduction) und interner Fixierung mit einer *Kompressionsplatte* sowie der Verwendung von autologem Knochenersatz und oft sich anschließender unterschiedlich langer Immobilisation (vgl. Kap. 4.4.5.) ist die häufigste Methode zur Versorgung der Claviculapseudarthrose (Davids 1996). Vor allem bei biologisch aktiven (hypertrophen) Pseudarthrosen hat sich die stabile Druckplattenosteosynthese bewährt (Rabenseifner 1981). Unter ihr versteht man eine Platte, bei der durch eine exzentrische Bohrung in einem ovalen Plattenloch nach Festziehen der Schraube Kompression auf die Fraktur ausgeübt wird. Auch Kuner bzw. Hofmann empfehlen die 3,5 mm-DC-Platte gegenüber der Halb- bzw. Drittelrohrplatte (Kuner 1979, Hofmann 1988). Manske berichtet über gute Ergebnisse mit der DC- und auch der Halbrohr-Platte jeweils in Kombination mit Knochenersatz. Er präferiert die 3,5 mm-DCP (Abb. 2-07) und erachtet diese Technik als sicher und zuverlässig mit einer vorhersagbar hohen Heilungsrate und geringer Komplikationshäufigkeit (Manske 1985). Allerdings wird seine Technik der Positionierung der Platte an die superiore Oberfläche der Clavicula z.B. von Dolin stark in Frage gestellt. Durch eine derartige Anbringung wird eine Läsion neurovaskulärer Strukturen unterhalb der Clavicula riskiert, wenn die Bohrungen die Clavicula-Unterseite durchdringen. Dolin begegnet dieser Problematik durch eine anteroinferiore Platzierung der Platte (Dolin 1986).

Wave Plate

Zur Optimierung der Plattenosteosynthese und seiner Ergebnisse schlägt Marti unlängst vor eine Wave Plate (Abb. 2-11) zu verwenden (Marti 2003). Er sieht die Claviculapseudarthrose-Versorgung mit den AO-Plattenosteosyntheseverfahren (DCP/Reko) im allgemeinen mit exzellenten Gesamtergebnissen (z. B. bei Bradbury 1996). Allerdings stellt er fest, dass in 30% der Therapien sich eine Brachialgie (z.B. Ballmer 1998, Connolly 1989) mit vorwiegender Symptomatik im ulnaren Dermatome als ernsthaftes Problem präsentiert. Zur Optimierung der Plattenosteosynthese und seiner Ergebnisse schlägt Marti daher eine Wave Plate vor, also eine 3,5 mm-DC-Platte, welche in ihrem mittleren Abschnitt in geeigneter Weise gebogen wird. Unter Verwendung dieser Platte gelingt es Marti die gefürchtete brachialgische Symptomatik am Entstehen zu hindern oder ihre postoperative Persistenz zu eliminieren. Marti betrachtet die Versorgung mit der Wave Plate als ‚*biological plating*‘, da aufgrund der Plattenform an der Pseudarthrosenstelle die lokale Blutversorgung

nicht gestört wird. Die Wave Plate erlaubt das Einsprossen von Blutgefäßen in das Spongiosaimplantat und die bessere Perfusion des Weichteilgewebes. Sie reduziert das von Müller (Müller 1991, Marti 2003) beschriebene Risiko eines Ermüdungsbruchs der Platte. Nach Aussagen von Marti trägt die Wave Plate auch zur Reduktion unpassender Callusbildung bei, führt zu einer besseren Knochenheilung und verringert infolgedessen das Risiko von Refrakturen nach Entfernung der Hardware. Als Nachteil der Wave Plate räumt Marti die initial gehäuften (2 von 9) Wundheilungsstörungen und Infektionen der Clavicula (2 von 9) ein (Marti 2003).

Rekonstruktionsplatte (Reko-Platte)

Die Rekonstruktions-Platte (Abb. 2-17) ist ein häufiges und erfolgreiches Implantat bei der Versorgung von Claviculapseudarthrosen. Nach Kölliker 1989 wird mehrheitlich akzeptiert, dass eine genügende Stabilität zur frühfunktionellen Nachbehandlung nur durch Plattenosteosynthese erreicht werden kann, wobei die in allen 3 Ebenen verformbare und damit an die Claviculaform anpassbare Rekonstruktionsplatte (3,5 mm) bevorzugt wird (Kölliker 1989). In Tab. 4-55 wurden die Ergebnisse der Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen mit der Rekonstruktionsplatte aus der Literatur (Kölliker 1989) dargestellt. Die dabei ausgewiesene Gesamt-Konsolidierungsrate von 94,0% entspricht gut dem Wert von 97,3%, der als Heilungsrate aus den Studien und Fallberichten ausgewertet werden konnte (vgl. Kap. 4.4.7.2.).

Beim Einsatz der Rekonstruktions-Platte sind verschiedene operative Varianten möglich. Während die meisten Unfallchirurgen die Rekonstruktions-Platte auf die *superiore* Seite der Clavicula anbringen (z.B. Laursen 1999), ist dies auch erfolgreich in *anteroinferiorer* Position mit den in Tab. 4-56 zusammengefassten Vorteilen möglich (Kloen 2002). Davids erhielt durch seine Versorgung der Claviculapseudarthrose mit der Rekonstruktionsplatte und frühzeitiger Mobilisation gute Ergebnisse: 100% Knochenheilung, nur 2 intra-/postoperative Komplikationen (Infektion, Refraktur, 100% beschwerdefreie Patienten (Davids 1996). Im Vergleich zur DCP (dynamic compression plate) ist die Rekonstruktionsplatte nach Meinung von Davids weniger raumfordernd, wodurch deren Positionierung auf die Oberseite der Clavicula mit ausreichender Weichteilgewebe-Deckung erleichtert wird (Davids 1996). Bradbury vergleicht an 32 Patienten den Einsatz der DCP mit der Rekonstruktionsplatte. In seiner Analyse stellt er fest, dass beide Platten gleichermaßen gute Ergebnisse liefern, jedoch die Rekonstruktionsplatte sich besser an die Clavicula-Form anpassen lässt und deswegen zu weniger Problemen, z.B. durch Hautirritationen führt (Bradbury 1996).

Die Vorteile der Rekonstruktions-Platte beschreibt auch Wentz. Er verwendet eine reguläre aus Stahl oder aus Titan bestehende Rekonstruktions-Platte, da diese Platte leicht durch Biegung in die Form der Clavicula gebracht werden kann. Seine Rekonstruktions-Platte wird in superiorer Position auf den Knochen aufgebracht und drei Schrauben auf jeder Seite der Pseudarthrose verleihen der Konstruktion ausreichende Stabilität (Wentz 1999). Laursen konstatiert, dass viele Chirurgen über eine hohe Erfolgsrate bei der Versorgung der Claviculapseudarthrose mit der Plattenosteosynthese berichten, jedoch nur wenige das funktionelle Ergebnis wirklich evaluiert haben. Seine eigenen mit einer Rekonstruktions-Platte (4,5 mm narrow self-compressing plate) versorgten Claviculapseudarthrosen wurden nach verschiedenen Kriterien bewertet. Hierbei zeigte sich, dass alle 11 verheilten *atrophischen* Claviculapseudarthrosen trotz der langen Follow-Up-Zeiten symptomatisch blieben (Laursen 1999). Wenn die Rekonstruktions-Platte auf die superiore Seite der Clavicula angebracht wird, wirkt sie wie eine Zuggurtung und begegnet somit der häufigen Problematik von Claviculafrakturen im mittleren Schaftbereich, die mit einer Deformation durch eine aufwärts gerichtete Fragmentspitze einhergehen (Laursen 1999). Edwards präferiert die 6-Loch-Rekonstruktions-Platte (3,5 mm) als Implantat der Wahl und erzielt

damit bei seinem aus 3 Soldaten bestehenden Patientenkollektiv eine 100%ige Heilungsrate. Als einzige ‚Komplikation‘ beanstandet ein Patient die Prominenz der Platte und die dadurch bedingte Irritation beim Tragen des Rucksacks, was jedoch nach planungsgemäßer Entfernung der Platte (12 Monate) zur Symptombefreiheit führte (Edwards 1999). Gute Ergebnisse und die operative Technik mit der Rekonstruktions-Platte, die er in anteroinferiorer Position anbringt (sonst eher anterosuperior), beschreibt Kloen. Dabei dient die Platte mehr als Unterstützungs-Plattform für die Frakturfragmente als von oben mit Schrauben gehalten werden zu müssen. Zudem kann bei der anteroinferioren Plattenanbringung eine vergleichsweise größere Schraubenlänge verwendet und somit eine höhere Haltekraft erzielt werden. Ebenso ist die Gefahr der Verletzung neurovaskulärer Strukturen geringer. Schließlich wird die Hardware nicht als prominent oder schmerzhaft empfunden, was im wesentlichen die Entfernung der Platte überflüssig macht (Kloen 2004). Von Bedeutung ist nach Kloen auch die Verwendung einer Zugschraube (Kloen 2002). Auch Helwig versorgt in einer aktuellen Studie von 25 Claviculapseudarthrosen 21 der Patienten mit Rekonstruktionsplatten und erhält dabei mit einer Heilungsrate zwischen 90 und 100% gute Resultate (Helwig 2004).

Über die Vorteile der Verwendung einer Plattenosteosynthese mithilfe von *zwei* gleichzeitig angebrachten Rekonstruktions-Platten in Form eines *Double plating*, was zu einer zusätzlichen Stabilität führt und die Befestigung eines angelegten oder interponierten Knochenimplantats erleichtert, berichtet Sadiq. Bei 5 derartig durchgeführten Osteosynthesen erhält er eine 100%-ige Heilungsrate, keinerlei Komplikationen und postoperativ beschwerdefreie Patienten. Diese Konstruktion ist nach seiner Auffassung hilfreich, wenn die Plattenlänge einer singulären Platte zur Claviculapseudarthrose-Überdeckung nicht ausreicht bzw. exzessive Verbiegung der Platte zur Anpassung an die Clavicula-Kontur erforderlich wird (Sadiq 2001).

LCDC-(limited contact dynamic compression)-Platte

Die LCDC-(limited contact dynamic compression)-Platte ist neben der Rekonstruktions-Platte das häufigste heutzutage eingesetzte Osteosyntheseimplantat bei der Therapie der Claviculapseudarthrose. Die wichtigsten in der Literatur genannten Vor- und Nachteile sind bereits im Ergebnis-Teil mit den Tabn. 4-57 und 4-58 zusammenfassend dargestellt worden. Die LCDC-Platte, erstmals von Perren beschrieben (Perren 1991), gilt dabei als eines der vielversprechenden Implantate hinsichtlich der multidirektionalen biomechanischen Kräfte, die auf die Schulter wirken, seiner besonderen Form und dem Interesse ausreichende Stabilität für frühzeitige Bewegungsübungen zu gewährleisten (Manske 1985, Jupiter 1987, Perren 1991, Olsen 1995, Simpson 1996, Ring 1997, Leupin 1998).

Die Vorteile der LCDC-Platte liegen u.a. darin, dass sie nur eine minimale Beeinträchtigung der Vitalität des darunter liegenden Knochens verursacht und aufgrund ihrer Steifigkeit der Fraktur gute Stabilität verleihen kann. Die strukturierte Unterseite der LCDC-Platte ermöglicht die Aufrechterhaltung der Blutzufuhr zu den verplatteten Knochensegmenten und damit auch eine bessere Heilung im Gebiet um die Platte. Die Vermeidung von Belastungsrissen, die bei der Entfernung des Implantats entstehen können, reduziert die Wahrscheinlichkeit zur Refraktur nach Plattenentfernung. Weiterhin bietet sie nach Aussagen der Autoren den Vorteil hoher Gewebeverträglichkeit in ihrer aus reinem Titan bestehenden Ausführungsform, die auch mit einer höheren Flexibilität und einer geringeren Neigung zur Materialermüdung verbunden ist. Aufgrund dieser Eigenschaften ist eine regelmäßige Entfernung der LCDC-Platte nicht mehr erforderlich und nur noch in Ausnahmefällen, wie z.B. bei Hautirritationen durchzuführen (Mullaiji 1994, Leupin 1998, Marti 2003). Die positiven Erfahrungen mit der LCDC -Platte einschließlich einer detaillierten operativen Vorgehensweise wird auch von Simpson ausführlich beschrieben (Simpson 1996).

Anhand der Operation zweier Claviculapseudarthrosen, deren initiale Traumata 16 bzw. 42 Jahre zurücklagen, mit einer LCDC-Platte und corticospongiösen Beckenkammspan, führt Ring auch den Beweis für Claviculapseudarthrosen, dass auch sehr alte Pseudarthrosen einer letztendlichen Heilung zugeführt werden können, wenn nur die richtigen biologischen und mechanischen Verhältnisse geschaffen werden (Ring 1997). Als nachteilig bei der Verwendung der LCDC-Platte räumt Leupin die notwendige Präparation der Knochenplastik vom Beckenkamm, die mit einer eigenen Morbidität einhergehen kann, sowie die doch beträchtliche Dimension des Metall-Implantats ein (Leupin 1998). Kabak zeigt in einer kürzlich veröffentlichten prospektiven, randomisierten Vergleichsstudie an Hand von 33 Patienten die Vorteile der LCDC-Platte gegenüber der DCP bei der Versorgung von 33 diaphysären Claviculapseudarthrosen auf. In seiner statistischen Auswertung (SPSS 10.0, independent t-test, Bonferroni post hoc test), die erstmalig als derartige Studie Einschluss- und Ausschlusskriterien ausweist, kommt er zu statistisch signifikanten Ergebnissen (Kabak 2004). Die Knochenheilungszeit bei der LCDCP-Therapie ist signifikant kürzer als bei der Verwendung der DCP, eine Knochenheilung wurde bei der LCDCP in 100% der Fälle gegenüber nur 87,5% bei der DCP erzielt, alle LCDCP-Patienten konnten ihre früheren Berufe wieder aufnehmen, bei der DCP mussten 2 von 16 Patienten umschulen. Auch die mit dem DASH-Score ermittelten funktionellen Ergebnisse waren bei der LCDCP deutlich besser als bei der DCP.

Drittelrohr-Platte

Die Drittelrohr-Platte (Abb. 2-26) kann nach Hackenbruch nur bei jugendlichen oder graziilen Patienten angewandt werden (Hackenbruch 1982-1). Drittelrohrplatten haben eine hohe Versagensquote und sind für die Fixierung der Clavicula bei Claviculapseudarthrosen zu schwach und nicht geeignet (Bronz 1981, Poigenfürst 1991, Sadiq 2001). In einigen Fällen wird die in Länge und Stärke unterdimensionierte Drittelrohr-Platte sogar für eine Begünstigung der Claviculapseudarthrose verantwortlich gemacht (Echtermeyer 1984).

Halbrohr-Platte (STP = Semitubular Plate)

Galle verwendete die Halbrohr-Platte (Abb. 2-25) bereits 1971, die seinerzeit gegenüber der damaligen AO-Kompressionsplatte den Vorteil bot, dass kein Spanner benötigt wurde und die Inzision daher klein gehalten werden konnte, was für das kosmetische Endergebnis nicht belanglos ist. Zudem ist die Halbrohr-Platte der Clavicula-Oberfläche an ihrer Vorderkante gut anzupassen (Galle 1971). Dieser Aspekt entfällt heutzutage, da die neuen AO-Kompressionsplatten aufgrund ihrer asymmetrischen Lochbohrungen keinen Spanner mehr benötigen (Pieske 2005).

Steffelaar behandelt 4 von 4 langwierigen Claviculapseudarthrosen mit 5-6-Loch-Halbrohr-Platten und erhält komplikationslose Ergebnisse. Als noch nicht optimal erscheint ihm, dass die kräftige lange Halbrohr-Platte manchmal schwierig in die geeignete Form zubiegen ist (Steffelar 1974). Connolly empfiehlt die Plattenosteosynthese mit der Halbrohr-Platte besonders für atrophe Claviculapseudarthrosen und die intramedulläre Fixationen (Knowles-Pin) eher für die hypertrophe Form (Connolly 1989). Auch Pyper berichtet über drei Fälle schwerer und lang andauernder Claviculapseudarthrosen, die er erfolgreich und komplikationslos durch Druckfixation mithilfe von AO-Halbrohr-Platten behandelt. Als besonderen Aspekt stellt er seine besonders kurzen Immobilisationszeiten von wenigen Tagen in einer Armschlinge heraus. Auch vertritt er die Ansicht, dass eine Anlagerung von Knochenpongiosa an der Frakturstelle nicht unbedingt erforderlich ist (Pyper 1978). Karaharju verwendet 5-6-Loch-Halbrohr-Platten und erreicht nach 3-6 wöchiger postoperativer Immobilisation eine Knochenheilungsrate von 100% (Karaharju 1982, Bradbury 1996). Jupiter erreicht bei der Verwendung von 3-5-Loch-Halbrohr-Platten bei 3 Patienten eine Heilung von 67% (Jupiter 1987, Pedersen 1994). Auch Connolly erzielt bei 2 von 2 zwei Patienten eine komplikationslose Korrektur der Claviculapseudarthrose

(Connolly 1989). Auch Wang berichtet über erfolgreich eingesetzte Halbrohr-Platten (Wang 1990). Die vorgenannten positiven Ergebnisse der Osteosynthese mit der Halbrohr-Platte stehen im Kontrast zu neueren Erfahrungen anderer Autoren. So sollten nach Pedersen kurze Halbrohr-Platten (z.B. 4-5-Loch) - v.a. bei zu kurzer postoperativer Immobilisation - wegen ihrer hohen Komplikationsrate nicht verwendet werden. Bei 5 derart behandelten Patienten traten viermal Plattenlockerungen und einmal ein Plattenbruch auf. Die initiale Heilungsrate nach primärer Versorgung der Claviculapseudarthrose weist er mit 20%, die nach Revision der Halbrohr-Platte mit 38% aus (Pedersen 1994, Marti 2003). Auch Petrovic erhält unter verschiedenen Osteosynthesetechniken mit der Halbrohr-Platte aufgrund von Plattenbruch und Plattenlockerung die schlechtesten Ergebnisse (Petrovic 2004).

Meves-Platte (= vorgebogene Halbrohr-Platte)

Die Platte von Meves, eine modifizierte 5-6-Loch-Kompressions-Halbrohr-Platte (Abb. 2-27) zur stabilen Osteosynthese von Claviculaschaftfrakturen und Claviculapseudarthrosen im mittleren und sternalen Claviculadrittel, zeigt eine Vorbiegung in S-Form, mit der im Gegensatz zu den (damaligen) übrigen Osteosyntheseverfahren die Wiederherstellung der funktionell bedeutungsvollen Claviculakrümmung gelingen soll (Meves 1973, Steffelaar 1974). Kritiker beanstandeten jedoch, dass die Plattenkrümmung nur selten der individuellen Claviculakrümmung entspricht (Hackenbruch 1982-1). Dennoch erzielten zahlreiche Autoren, z.B. Hackstock angeblich ausgezeichnete, nicht näher ausgeführte Ergebnisse mit der Meves-Platte (Hackstock 1988), obwohl mitunter über eine kosmetische unbefriedigende Narbenbildung gesprochen wird.

Balser-Platte

Für die laterale, periphere Claviculapseudarthrose eignet sich die Balser-Platte (Abb. 2-55), die sonst ihren Hauptanwendungsbereich in der Fixierung von Schulterergelenk-Verletzungen hat. Eine sichere Stabilisierung ist hier auch möglich, wenn das periphere Fragment so kurz ist, dass es nur mit einer Schraube gefasst werden kann (Albrecht 1982, Hackenbruch 1982-1).

5.4.3.4.3. Intramedulläre Fixationen

Allgemeines

Die intramedulläre Fixation der Claviculapseudarthrose mit verschiedenartigen Drähten, Nägeln oder Schrauben stellt nach den plattenosteosynthetischen Verfahren die zweithäufigste Therapieform dar. Besonders in jüngster Zeit scheint ihr Anteil jedoch zuzunehmen und sie eine gleichberechtigte bis überlegene Alternative zu werden (Jubel 2005, Lindenmaier 2005 <persönliche Mitteilung im KH Memmingen im Dezember 2005>). Es wird die Marknagelung von der Markdrahtbohrung, bei der der Markraum durch Vorbohrung eröffnet wird, unterschieden. Verwendet werden verschiedenartigste gewindelose oder gewindetragende Stifte, Nägel und Schrauben. Die häufigsten in der Literatur genannten und eingesetzten Implantate zur intramedullären Fixation bei Claviculapseudarthrosen sind: *Küntscher-Nagel* (Küntscher 1952), *Kirschner-Draht* (Watson-Jones 1955, Merle d'Aubigné 1958, Baciú 1966), *Rush-Pin* (Rush 1957), *Knowles-Pin* (Nevasier 1975), *Hagie-Pin* (Boehme 1991), *Steinmann-Nagel* (Capicotto 1994), *kanülierte Knochenschraube nach Herbert* (Proubasta 1999), *intramedulläre Knochenschraube* (Hoe-Hansen 2003) und *elastisch-stabiler intramedullärer Nagel* (Jubel 2005).

In Tab. 4-63 wurden die Studien-Untergruppen bei der Auswertung von 27 Studien und Fallberichten im Ergebnis-Teil definiert und in 8 unterschiedliche Fixationssysteme differenziert: Kirschner-Draht, Rush-Pin, Steinmann-Nagel, Knowles-Pin, Küntscher-Nagel,

Hagie-Pin, Elastisch-stabiler intramedullärer Nagel und andere (kanülierte Knochenschraube nach Herbert, intramedulläre Knochenschraube).

Von allen möglichen Fixationssystemen wird bei 23 auswertbaren Studien im Gesamtzeitraum der Kirschner-Draht mit 25,8% am häufigsten zur Versorgung einer Claviculapseudarthrose eingesetzt. Der Kirschner-Draht wird auch bei Betrachtung der 8 diesbezüglich unimodalen Studien der letzten 10 Jahre, repräsentativ für 63 Patienten mit einer Claviculapseudarthrose im mittleren Drittel, mit einem Anteil von 33,3% am häufigsten eingesetzt (Tab. 4-64).

Vorteile und Erfolge der intramedullären Fixierung

Als allgemeine Vorteile der intramedullären Nagelung (vgl. Tab. 4-67) werden eine kosmetisch akzeptable Inzision, geringere Entfernung von Weichteilgewebe und nach erfolgter Heilung eine einfache Entfernung des Nagels durch eine kleine Inzision unter Lokalanästhesie angesehen. Zudem dient der intramedulläre Nagel als *Last-teilendes* Implantat verglichen mit der *Last-tragenden* Osteosynthese-Platte, was zur Folge hat, dass eine Implantat-induzierte Osteoporose weniger stark auftritt und dies zu einer vergleichsweise geringeren Rate an Refrakturen nach Metallentfernung führt (Boehme 1991, Jones 2000).

Bereits 1952 berichtet Küntscher über eine sichere, einfache und erfolgreiche Therapie der Claviculapseudarthrose mithilfe der Marknagelung und löst damit die unbefriedigenden Techniken der Drahtumschlingungen ab. Im Gegensatz zur Schwierigkeit der geschlossenen Marknagelung des frischen Bruches ist die Korrektur der Claviculapseudarthrose relativ einfach, da hier der Bruchherd eröffnet wird und die Schwierigkeiten der Reposition und intraoperativen Röntgenkontrolle fortfallen. Als *Küntscher-Nagel* (Abb. 2-44) wird je nach Weite der Markhöhle ein 2-3 mm starker und ca. 20 cm langer Stahl-Draht benutzt, wobei dieser Draht eingebohrt werden muss. Dies liegt an der Besonderheit der Clavicula, dass deren Markhöhle teilweise mit Spongiosa gefüllt ist, die das Einschlagen eines Nagels sehr erschwert. Bei der Einführung des Nagels ist zu beachten, dass jeder Clavicula-Nagel die Neigung hat aus der Clavicula herauszuwandern. Küntscher begegnet dieser Problematik durch Umbiegen *beider* Ende des Nagels, was zudem auch das Auseinanderweichen der Bruchstücke verhindert. Damit ist kein fixierender Verband der Clavicula erforderlich, so dass frühzeitig mit Bewegungen begonnen werden kann. Nach 6-12 Monaten wird der Küntscher-Nagel wieder entfernt (Küntscher 1952, Küntscher 1964). Niemeier bevorzugt die Küntscher-Nagelung gegenüber anderen Osteosyntheseverfahren mit der Argumentation, dass die Clavicula in beiden Gelenken in 3 Ebenen beweglich ist und die Frakturenden meist parallel stehen. Die intramedulläre Stabilisierung mit dem Küntscher-Nagel ist dann eine schnelle und einfache Methode. Sie gewährleistet nach Aussagen von Niemeier eine hohe interfragmentäre Kompression und bietet den Vorteil geringer Knochenläsion infolge fehlender Schraubbohrlöcher. Das kosmetische Ergebnis bezüglich Narbenbildung ist sehr gut. Postoperativ ist für ca. 2 Wochen ein Desault-Verband anzulegen, um Rotationsstabilität zu gewährleisten und um einer Nagelwanderung vorzubeugen (Niemeier 1990).

Storen versorgt 1966 erstmalig eine Claviculapseudarthrose mit erheblichem Knochendefekt durch Einbringung von zwei *Rush-Pins* (Abb. 2-34), einem lateralen und medialen Nagel und der Verwendung zweier T-förmiger Tibia-Späne. Bis auf die vorzeitig erforderliche Entfernung der Osteosynthese-stabilisierenden Drahtcerclage erfolgt der Eingriff problemlos und mit einem exzellenten Heilungsergebnis (Rush 1957, Storen 1966). Schwier verwendet 1967 im Rahmen einer Markgewindestift-Osteosynthese in mehreren Fällen erfolgreich einen 180 mm langen Markgewindestift aus V4A-Stahl mit endständigem Rush-Pin-artigem Hakenstück. Zur Anregung der Osteogenese bei Claviculapseudarthrosen benutzt er zusätzlich eine knöcherne Röhre aus der Knochenbank, die über die

Knochenfragmente geschoben wird und somit den Frakturspalt überbrückt. Der Rush-Pin kann sich dank seiner relativ weichen Beschaffenheit den anatomischen Gegebenheiten der Clavicula gut anpassen (Thurnheer 1969). Enneking sieht die Rush-Pinnung der Plattenfixation gegenüber im Vorteil, da weniger Gewebeentfernung und weniger periostale Devastierung erforderlich ist. Zudem kann der Rush-Pin leicht in lokaler Anästhesie entfernt werden, sofern dies überhaupt erforderlich ist. (Enneking 1999).

Nevasier fixiert die Claviculapseudarthrose intramedullär mit Gewinde-tragenden *Knowles-Pins* (Abb. 2-28) und erhält in 4 von 4 Claviculapseudarthrose-Fällen eine unkomplizierte Knochenheilung und beschwerdefreie Patienten innerhalb eines Follow-Up von 20 (!) Jahren. Das Gewinde verhindert nach Nevasier die Migration des Nagels, reduziert die Zeit der externen Immobilisierung und erübrigt ein Entfernen des Nagels nach Heilung (Nevasier 1975, Nevasier 1987). Gute Ergebnisse mit dem Knowles-Pin erzielen auch zahlreiche andere Autoren (Zenni 1981, Wang 1990, Chu 2002).

Boehme präferiert die intramedulläre Nagelung mit dem *Hagie-Pin* (Abb. 2-36). Die unzureichende Fixation des *Hagie-Pin* gegenüber Rotationskräften, gleicht Boehme durch ein differenziertes postoperatives Behandlungs-Regime aus, indem die Rotationskräfte durch Limitation der Flexionsbewegung des Arms auf 90° während der frühen postoperativen Phase eliminiert werden. Als Vorteile sieht Boehme, dass die Inzision in der Langer-Linie eine kosmetisch akzeptable Narbe ermöglicht, das begrenzte Ausmaß der Inzision benötigt weniger Dissektion und Entfernung von Weichteilgewebe und dass der intramedulläre Nagel als Last-teilendes Implantat wirkt (Boehme 1991).

Capicotto weist bei 13 von 13 Patienten eine Heilungsrate von 100% bei der Verwendung des intramedullären *Steinmann-Nagels* (Abb. 2-39) in Verbindung mit einer Spongiosaplastik aus, ohne dass eine starre oder strikte postoperative Immobilisation erforderlich ist. Nach seinen Erkenntnissen verleiht der Gewinde-tragende Steinmann-Nagel ausreichend Stabilität. Als großen Vorteil sieht auch er die einfache Entfernung des Implantats ohne große Invasivität an (Capicotto 1994).

Ngarmukos operiert 11 Claviculapseudarthrosen erfolgreich, indem er *zwei* 2,0 mm *Kirschner-Drähte* (Abb. 2-42) verwendet, die er jeweils am medialen Ende der Clavicula zur Verhinderung der proximalen Migration umbiegt. Die 2,0 mm starken Kirschner-Drähte sind nach Ansicht von Ngarmukos stabil genug, um eine nur kurze Ruhigstellung (3 Tage) in einer Armschlinge zu benötigen und eine frühzeitige Mobilisierung zu ermöglichen. Ngarmukos sieht die Vorteile der intramedullären Fixation durch einen starken Kirschner-Draht darin, dass vergleichsweise nur ein minimales periostales Stripping erforderlich ist und dass die Spongiosaplastik um den Fraktursitus herumgepackt werden kann, während die Plattenosteosynthese nur die partielle Anbringung gestattet. Auch betont er die vorteilhaft kleinere und kosmetisch akzeptablere Narbe nach Osteosynthese mit dem Kirschner-Draht (Ngarmukos 1998).

Wu vergleicht in einer retrospektiven Studie die intramedulläre Nagelung mit der Plattenosteosynthese zur Behandlung der aseptischen Claviculapseudarthrose. In seiner Analyse (Details in Kap. 5.4.3.4.6) rangiert die intramedulläre Fixation mindestens gleichwertig neben der Plattenosteosynthese und hat sogar eine geringfügig niedrigere Komplikationsrate. Als Vorteil sieht er das seltenere Vorkommen von gebrochenen oder migrierten Nägeln als den Bruch oder die Lockerung von Plattenmaterial und den Plattenschrauben an (Wu 1998, Marti 2003). Auch Sadiq und anderer Autoren zitieren die Vorteile des intramedullären Nagels dahingehend, dass er durch eine kosmetisch akzeptable Inzision eingeführt werden kann und weniger Läsionen von Weichteilgewebe erfordert. Ebenso kann er durch eine kleine Inzision unter Lokalanästhesie wieder entfernt

werden (Capicotto 1994, Wu 1998, Sadiq 2001). Nachteilig ist jedoch die gelegentlich schwierige Insertion der intramedullären Implantate vor allem bei atrophischen Knochenenden der Claviculapseudarthrose (Sadiq 2001).

Jubel berichtet aktuell über die Ergebnisse seiner prospektiven klinischen, statistisch unterlegten Studie, in der er 14 Claviculapseudarthrosen des mittleren Drittels mithilfe des *stabil-elastischen intramedullären Titan-Nagels* (ESIN, Durchmesser 3,0-3,5 mm) osteosynthetisch versorgt (Abb. 2-33). Mit dieser Variante der intramedullären Fixation hatte Jubel bereits bei frischen Claviculafrakturen gute Ergebnisse erhalten (Jubel 2002-1, Jubel 2002-2). Aufgrund seiner akkuraten Auswahl der Claviculapseudarthrosen, mit Ausschluss von atrophischen, Infekt-, Defekt- sowie voroperierten Pseudarthrosen kann Jubel auf die Verwendung von autologen Knochentransplantaten verzichten. 13 von 14 Claviculapseudarthrosen kann er mit dem ESIN innerhalb von 12 Monaten zur Ausheilung bringen. Die postoperative Nachbehandlung besteht in einer sofortigen schmerzorientierten Bewegung des Arms. Nach den Ausführungen von Jubel traten keinerlei Implantat-Dislokationen, Infekte und Refrakturen auf. Die Beschwerden der Patienten waren bereits 3 Monate postoperativ signifikant reduziert und die funktionellen und kosmetischen Resultate als gut einzustufen (Jubel 2005).

Proubasta begegnet der Problematik, dass viele Osteosynthesetechniken eine spätere Implantat-Entfernung aufgrund von hautschädigender Lockerung oder Protrusion des Implantats erforderlich machen (Sakellarides 1961, Jupiter 1987, Olsen 1995, Proubasta 1999, Proubasta 2004). Er verwendet als intramedulläre Fixationstechnik die *kanülierte Knochenschraube nach Herbert* (Abb. 2-48), ein Verfahren, das die spätere Implantatentfernung nach eingetretener Knochenheilung überflüssig macht. Als Vorteile definiert er die Möglichkeit einer horizontalen oder vertikalen Inzision in der Langer-Linie, die minimale Dissektion und Entfernung von Weichteilgewebe, die Platzierung von Spongiosa um die ganze Frakturstelle anstatt an nur eine Seite wie bei der Plattenosteosynthese. Biomechanisch erfüllt die *Herbert-Schraube* alle Anforderungen an eine gute stabile Fixierung, da sie einen Druck sowohl vom medialen als auch vom lateralen Fragment aus ermöglicht und die Rotationskräfte in einem Drittel der Clavicula kontrolliert. Die Herbert-Schraube verursacht nach Meinung von Proubasta keine Protrusion unter der Haut und kein Impingement über dem AC-Gelenk, was zu einer Entfernung des Implantats zwingen würde. Gegenüber den alternativen Verfahren der intramedullären Nagelung bietet die Knochenschraube den Vorteil der besseren Kompression der Frakturstelle, was häufig eine zusätzliche Verwendung von Knochenplastik obsolet machen kann. Fünf Patienten mit Claviculapseudarthrose konnten von Proubasta mit dieser Technik zur Ausheilung gebracht werden, ohne dass sich Komplikationen oder Restbeschwerden ergaben (Proubasta 1999, Proubasta 2004).

Hoe-Hansen beschreibt seine Therapie und OP-Technik mit der *intramedullären Spongiosa-Schraube* anhand von 6 von 6 erfolgreich versorgten Patienten (Hoe-Hansen 2003, Abb. 2-50). Diese hat den Vorteil, dass sie kein hervortretendes (*protruding*) laterales Ende hat sondern nur einen glatten Kopf besitzt. Sie bewerkstelligt die gewünschte Kompression der Pseudarthrose und eine sichere Verankerung des medialen Fragmentes. Nach Hoe-Hansen braucht sie nach erfolgter Knochenheilung nicht entfernt werden. Da auch die intramedulläre Schraube als Last-teilendes Implantat dient (Boehme 1991), ist eine Osteoporose weniger stark ausgeprägt und die Wahrscheinlichkeit einer Refraktur durch den osteoporotischen Knochen nach Entfernung der Hardware verringert (Hoe-Hansen 2003). Der 100%igen Heilungsrate seiner 6 Patienten stehen jedoch einige mittelschwere Komplikationen (subacromiale Infektion, Schmerzhaftigkeit wegen zu langer Schraube, schmerzhaftige Clavikelverkürzung) gegenüber, was sich auch im stark heterogenen postoperativen Constant-Score von 57-100 widerspiegelt.

Nachteile der intramedullären Fixation

Galle sieht die Marknagelung (Markdrahtung) als zu gefährlich an. In seinem Patientenkollektiv von 4 Patienten behandelt er 3 davon erfolgreich mit Platten, jedoch 1 Patienten komplikationsreich mit Markdrahtung: Nach zunächst erfolgter Wundheilung per primam eines 26-jährigen Fußballspielers mit Z.n. sportbedingter Claviculafraktur und Marknagelung der Claviculapseudarthrose beginnt eine eitrige Sekretion der Wunde. Nachfolgend Entfernung des Markdrahts samt Sequester. 2 weitere stationäre Aufenthalte wegen weiterer Sequestrierung eitriger Clavicula-Anteile. Schließlich Ausheilung mit Defektpseudarthrose, Gefühlsstörungen in der Hand und unschöner Narbe (Galle 1971). Wilkins berichtet über eine 75%ige Komplikationsrate - bei 2 von 3 Patienten Bruch des Nagel-Implantats mit persistierender schmerzhafter Pseudarthrose - in seinem mit intramedullärer Fixation behandeltem Krankengut (Wilkins 1983).

Die offene intramedulläre Fixierung wird mit verschiedenen Implantaten wie z.B. glatte und Gewinde-tragende Steinmann-Nägel, Kirschner-Drähte oder Knowles-Nägel durchgeführt. Intramedulläre Nägel sind tendenziell schwierig in die S-förmige Clavicula einzubringen. Bei der Verwendung von Nägel mit Gewinden kann sich sogar aufgrund der Krümmung der Clavicula und deren engem medullären Kanal eine weitere Dislokation der Fragmente ergeben (Rowe 1968, Ali Khan 1978, Zenni 1981, Fontaine 1984). Beim Einschlagen eines Marknagels wie auch beim Einführen eines Rush-Pins können Schwierigkeiten auftreten, das Implantat in den Markraum einzutreiben, wenn dieser von kräftiger Spongiosa ausgefüllt ist. Dabei ist die Gefahr vorhanden, dass die Clavicula gesprengt wird (Thurnheer 1969). Während Claviculapseudarthrosen, die aus Quer- oder kurzen Schrägfrakturen der Clavicula herrühren, sich oft mühelos versorgen lassen, sind Pseudarthrosen von Stückfrakturen viel anspruchsvoller. Meist kann das freie Fragment nicht auf dem Nagel oder Draht ,aufgefädelt' werden, sondern höchstens angelegt werden (Thurnheer 1969).

Nach Kremens und anderen Autoren kann die Tendenz einiger Nägel (z.B. Steinmann-Nagel) sich zu lockern und nachfolgend zu wandern, zu ernsthaften, bedrohlichen Komplikationen führen (Kremens 1956, Rowe 1968, Manske 1985, Kölliker 1989, Davids 1996). So berichtet Kremens über einen Patienten, der vier Wochen nach der Nagelung der Claviculapseudarthrose den Steinmann-Nagel expektorierte. Auch ist das Hervortreten (Protrusion) der Nägel unter der Haut nicht untypisch (Mazet 1943, Kremens 1956, Noriell 1965, Proubasta 1999). Glatte Nägel können mitunter in andere Körperbereiche migrieren. Kona berichtet, dass die *transacromialen* Kirschner-Drähte bei der Versorgung *lateralen* Claviculafrakturen mit den höchsten Komplikations- und Pseudarthrosenraten verbunden sind (Kona 1990). Hofmann bezeichnet das Wandern von Kirschner-Drähten in den Thorax als eine der schwerwiegendsten Komplikationen bei Verwendung derartiger Metall-implantate. Im einem Fall war es zu einem Wandern des Drahtes in den Thorax mit Penetration ins Mediastinum und in die linke Lunge gekommen (Hofmann 1988). Über Migration von Nägeln bei intramedullärer Fixierung berichten auch andere Autoren (Bronz 1981, Lyons 1990, Kloen 2002). Die Problematik der Migration von Nagel-artigem Osteosynthesematerial wird jedoch durch eine Analyse von Lyons relativiert, der in einem detaillierten Review feststellt, dass schwerwiegende Ereignisse durch migrierende Nägel hauptsächlich, zahlenmäßig nicht weiter verifizierbar, bei der Fixation des Sternoclaviculargelenks auftreten (Lyons 1990, Capicotto 1994), wohingegen Berichte über die Migration von Gewinde-tragenden oder intramedullären Clavicula-Nägeln seltener sind (Capicotto 1994).

Boehme behandelt von 50 Claviculapseudarthrose-Patienten 23 initial mit intramedullärer Nagelung. 21 von diesen 23 hatten eine Pseudarthrose ohne Knochendefekt und wurden mit einem modifizierten Hagie-Pin und Spongiosaplastik behandelt. Sie erreichte dabei eine Knochenheilung von 95% nach einer durchschnittlichen Knochenheilungszeit von 22 Wochen. Jedoch waren nur 67% der Patienten am Ende der Behandlung symptomfrei.

Insgesamt ergaben sich in 86% der Patienten Probleme bezüglich der verwendeten Nägel (Boehme 1991, Ballmer 1998). Bei den Patienten von Boehme entwickelte sich häufig eine schmerzhafte Bursa am lateralen Ende des Nagels mit der Folge, dass bei 17 von 21 Patienten der Hagie-Pin nach der Knochenheilung wieder entfernt werden musste (Boehme 1991, Hoe-Hansen 2003). Capicotto berichtet, dass die Hälfte seiner Patienten Nagelrelevante Symptome vor der frühzeitigen Nagel-Entfernung hatten und in 25% der Fälle der Nagel durch die Haut perforierte (Capicotto 1994, Ballmer 1998). Eine der häufigsten Komplikationen auch nach den Operationen von Capicotto ist die Empfindlichkeit über 50% seiner Patienten am lateralen Ende des Steinmann-Nagels aufgrund einer Bursitis, die erst nach operativer Entfernung des Nagels verschwindet (Capicotto 1994).

Mit einer intramedullären Fixation ist nach Aussage zahlreicher Autoren eine genügende Rotationsstabilität angeblich nur schwer erreichbar (Kehr 1975, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Kölliker 1989). So betont Kehr, dass intramedulläre Methoden (z.B. Rush-Pin, Markdraht, Küntscher-Nagel) wegen mangelnder Rotationsstabilität keine ausreichende Retention ermöglichen und die Ausbildung und das Fortbestehen der Claviculapseudarthrose eher fördern, da durch partielle Verklemmung der Implantate im Markraum eine Sperrwirkung entsteht und so die zur Heilung erforderliche Verkürzung nicht eintreten kann (Kehr 1975). Auch Davids sieht insgesamt die intramedulläre Fixation verglichen mit der Plattenosteosynthese als technisch schwieriger und weniger widerstandsfähig gegenüber Rotationskräften (Davids 1996). Die Problematik der Rotationskontrolle bei der intramedullären Fixierung wird auch von anderen Autoren angesprochen (Boehme 1991, Mullaji 1994, Middleton 1995, Kloen 2002). Weitere Risiken und ernsthafte Komplikationen bei der Verwendung von intramedullären Techniken sind beschrieben (Norell 1965, Lyons 1990, Liu 1992, Leppilahti 1999, Hoe-Hansen 2003).

5.4.3.4.4. Externe Fixation (Fixateur externe)

Die Osteosynthese der Claviculapseudarthrose durch eine externe Fixation mittels Fixateur externe oder einer suprakutan aufliegender AO-Platte ist ein selten angewandtes Verfahren und wird nahezu ausschließlich bei septischen Verhältnissen an der Pseudarthrose eingesetzt (vgl. Tab. 4-69, Abbn. 2-52 und 2-53). Die Heilungsraten sind vergleichsweise niedrig (Kap. 4.4.7.2.) und die Komplikationsraten eher hoch (Kap. 4.4.7.3.). Zu den Unfallchirurgen, die externe Fixationssysteme verwenden gehören u.a. Schuind, Marti, Köck und Nowak (Schuind 1988, Marti 1991, Köck 1996, Nowak 2001). Im Ergebnis-Teil wurden in Tabn. 4-70 und 4-71 bereits die in der Literatur meistgenannten allgemeinen und speziellen Vor- und Nachteile der externen Fixation bei Claviculapseudarthrose sowie beispielhafte Autoren aufgelistet.

Die operative Versorgung von Claviculapseudarthrosen in Form der externen Fixation nach Hoffmann gelang Schuind erstmals im Jahre 1988 bei 5 von 5 Patienten mit 100% knöcherner Konsolidierung. Auch Köck berichtet von einer erfolgreich mit dem Fixateur externe behandelten infizierten atrophischen Claviculapseudarthrose (Köck 1996). Dagegen ist in den Ergebnissen von Nowak der Einsatz eines Fixateur externe bei der von ihm durchgeführten prospektiven Vergleichsuntersuchung gegenüber der Plattenfixierung deutlich problembehaftet. Als Nachteile führt er die geringe Heilungsrate von 72,7% (8 von 11 Patienten), die deutliche Ausprägung der postoperativen Symptome sowie die Beschwerden der Patienten gegenüber der Behinderung durch den Fixationsrahmen an (Nowak 2001). Mithilfe einer suprakutan aufgelegten AO-Platte zur externen Fixation, vergleichbar der ZESPOL-Osteosynthesetechnik (Ramotowski 1987), versorgt Marti verschiedene, vor allem infizierte Pseudarthrosen erfolgreich. Die Vorteile beschreibt er als einfache, gut verfügbare, patientenfreundliche Technik ohne erforderliches besonderes

Equipment und mit ausreichender Stabilität der Konstruktion. Die Behandlung der darunter befindlichen chronisch infizierten Defektpseudarthrose einer Clavicula scheidet jedoch aufgrund sekundärer Instabilität. Ursache ist eine postoperative Schraubenlockerung aufgrund progressiver Osteitis (Marti 1984, Marti 1991).

5.4.3.4.5. Weitere Verfahren

Exemplarische Erwähnung sollen einige weitere Verfahren wie z.B. Knochennaht mit Draht oder Catgut, Umschlingungen der Frakturstelle mit Draht oder anderen Materialien sowie Verschraubungen der Frakturrenden mit und ohne Knocheninterponat zur operativen Therapie der Claviculapseudarthrose finden, die vor allem bis zur Mitte des letzten Jahrhunderts durchgeführt wurden und heutzutage von den modernen Methoden der Plattenosteosynthese und intramedullären Fixation abgelöst sind. Ihre Nachteile sind vor allem in der ungenügenden Stabilität begründet. Dennoch berichten auch Autoren der älteren Verfahren über ‚sehr gute und gute Erfolge, voll befriedigende Resultate, 100%ige Heilung und Symptombefreiheit‘ (Bardenheuer 1886, Berkheiser 1937, Annersten 1948, Mayer 1965, Baciu 1966, Walcher 1973). In Tab. 4-72 des Ergebnis-Teils sind diesbezügliche Verfahren und exemplarische Autoren zusammengefasst.

5.4.3.4.6. Die optimale rekonstruktive Therapie - direkter Vergleich der Verfahren

Die optimale Behandlung der Claviculapseudarthrose ist immer noch nicht definiert (Nevasier 1987, Boehme 1993, Wu 1998). Sowohl die Plattenosteosynthese als auch die intramedulläre Nagelung jeweils mit zusätzlicher Knochenplastik und die externe Fixation mit einem Fixateur externe haben ihre Fürsprecher und wurden in der Vergangenheit immer wieder diskutiert (O'Connor 2004). In Tab. 4-73 des Ergebnis-Teils (Kap. 4.4.3.1.6.) wurden bereits die wenigen direkt vergleichenden Studien zur rekonstruktiven Osteosynthese der Claviculapseudarthrose zusammenfassend dargestellt. Darunter befinden sich 3 Studien, die die Plattenosteosynthese mit der intramedullären Fixierung vergleichen (Everke 1969, Wu 1998, Si 2004), 4 Studien die verschiedene Verfahren der Plattenosteosynthese untereinander vergleichen (Bradbury 1996, Sadiq 2001, Marti 2003, Kabak 2004) und eine Studie, die die Plattenosteosynthese dem Fixateur externe gegenüberstellt (Nowak 2001).

Everke sieht in seiner älteren Gegenüberstellung der Techniken anhand von insgesamt 23 Patienten die *Plattenosteosynthese* nach der AO-Technik gegenüber intramedullärer Fixierung mittels Rush-Pin oder Kirschner-Draht in Bezug auf das Heilungsergebnis im Vorteil (Tab. 4-74, Everke 1969). Auch hier wird jedoch von Everke das Ergebnis relativiert, indem *‚ein Vergleich der beiden Verfahren nicht möglich ist, da die Besserung des einen oder anderen Patienten wesentlich vom präoperativen Befund abhängt.‘* Connolly empfiehlt, in der Abwägung zwischen Plattenosteosynthese und intramedullärer Nagelung, ohne detaillierte Begründung, die erstere für die *atrophe* Claviculapseudarthrose und die intramedulläre Fixation (Knowles-Pin) für die *hypertrophe* Form (Connolly 1989).

Bis 1998 wurde über keinen *direkten statistischen* Vergleich dieser Techniken berichtet. Wu führt 1998 erstmals eine diesbezügliche retrospektive und statistische Studie (Fisher's exakt Test, unpaired Student Test mit $p < 0,05$) durch, nachdem er aus seiner klinischen Praxis die *intramedulläre Nagelung* bereits als die Technik mit den besseren Ergebnissen erachtet hatte. Tatsächlich führt seine Studie anhand von 29 Patienten mit einer Claviculapseudarthrose des mittleren Claviculadrittels zum Ergebnis, dass die intramedulläre Nagelung mit einem Steinmann-Nagel oder Knowles-Pin - anders als bei Everke - mit einer höheren Heilungsrate (88,9% gegenüber 81,8%) und einer niedrigeren Kompl-

kationsrate (11,1% gegenüber 27,3%) verbunden ist als die Plattenosteosynthese mit einer DCP oder Halbrohr-Platte ($p > 0.05$). Wu stellt auch fest, dass beide Techniken vergleichsweise höhere Raten an persistierender Claviculapseudarthrosen haben als bei der Versorgung anderer Pseudarthrosen der langen Röhrenknochen (Wu 1998).

In einer aktuellen statistisch unterlegten Studie von Si auf Basis von 19 operativ versorgten Claviculapseudarthrosen, die allerdings nur in englischer Kurzfassung ohne weitere Detailangaben zur Verfügung steht, ergibt sich die *Plattenosteosynthese* (DCP/STP) gegenüber der intramedullären Fixation mit Kirschner-Draht als die signifikant bessere Methode (Si 2004). Danach zeigten 7 von 9 (78%) der Patienten nach Plattenosteosynthese ein sehr gutes Ergebnis, während 4 von 10 (40%) der intramedullären Nagelungen ein nur befriedigendes bzw. unbefriedigendes operatives Resultat erbrachten.

Nowak vergleicht 2001 ebenfalls auf statistischer Basis (Wilcoxon rank sum test, Fisher's exact test) die Versorgung von 24 Claviculapseudarthrosen durch die Plattenosteosynthese (Rekonstruktions-Platte) mit der Verwendung eines Fixateur externe (Nowak 2001). In seiner Analyse ist die *Plattenosteosynthese* im Zusammenspiel mit Knochenimplantat die zu bevorzugende Methode, da sie - bezogen auf den Primäreingriff - vergleichsweise höhere Heilungsraten (12 von 13 = 92,3%), geringere Knochenheilungszeiten, geringere Symptommhäufigkeit der Patienten und höheren Patientenkomfort als die Technik mit dem Fixateur externe aufweist (Knochenheilungsrate: 8 von 11 = 72,7%).

Im Vergleich der Plattenosteosynthese-Verfahren untereinander sieht Bradbury die Rekonstruktions-Platte mit ähnlich guten Ergebnissen wie die Standard-DCP (Bradbury 1996). Unter Verwendung der Rekonstruktions-Platte kamen 15 von 17 (88,2%) primär zur Ausheilung, bei der DC-Platte waren es 14 von 15 (93,3%). Nach entsprechenden Sekundäreingriffen kann Bradbury über 31 von 32 (96,9%) durch Plattenosteosynthese geheilten Claviculapseudarthrosen berichten. Vorteile seiner Wave Plate (S-förmige DCP) gegenüber einer Rekonstruktions-Platte bzw. Standard-DCP sieht Marti (Marti 2003). Patienten die eine Wave Plate-Osteosynthese erhielten hatten keine Brachialgie und einen höheren postoperativen Constant Score (93 gegenüber 80) als jene die mit Standard AO/ASIF-Techniken behandelt wurden. Allerdings befand sich unter den Wave Plate-Patienten eine persistierende Claviculapseudarthrose, während die anderen Patienten zu 100% einer Heilung zugeführt werden konnten.

In der jüngsten Studie von Kabak, *Treatment of midclavicular nonunion: comparison of DCP and LC-DCP techniques*, kommt dieser anhand von insgesamt 33 Patienten zum Schluß, dass in seinem Patientenkollektiv das modernere LC-DCP-Verfahren mit einer Konsolidierungsrate von 100% (17 von 17) dem Standard-DCP-Verfahren mit 2 von 16 = 12,5% persistierenden Claviculapseudarthrosen überlegen ist (Kabak 2004).

5.4.3.4.7. Salvage procedures (Resektive Verfahren)

Neben den häufigeren rekonstruktiven operativen Verfahren sind auch die selteneren sogenannten Salvage procedures (Resektive Verfahren) als operative Therapieformen der Claviculapseudarthrose in der älteren aber auch vereinzelt in der jüngeren Literatur beschrieben. Bei den Salvage procedures steht die Reduktion von Symptomen und Formabweichungen im Vordergrund ohne eine Knochenheilung als primäres Ziel anzustreben. Derartige Verfahren umfassen die Exzision von Knochenvorsprüngen, die partielle oder totale Resektion der Clavicula sowie die Resektion der ersten Rippe. Über diesbezüglich hohe Erfolgsraten bei der Therapie der Claviculapseudarthrose berichten verschiedene Autoren (Calcagni 1964, Howard 1965, Rowe 1968, Copland 1972,

Tregonning 1976, Bargar 1984, Connolly 1986, Kay 1986, Wood 1986, Naidu 1994, Middleton 1995, Garnier 2003). Mögliche Vorteile und Indikationen bzw. Nachteile und Kontraindikationen zur Resektion und Teilresektion bei Claviculapseudarthrose und diesbezügliche Autoren wurden bereits in Tabn. 4-77 und 4-78 wiedergegeben.

5.4.3.4.8. Die Therapie der lateralen Claviculapseudarthrose

Publikationen und Studien bezüglich der Versorgung lateraler Claviculapseudarthrosen sind in der Literatur selten. Als mögliche Verfahren werden in den Veröffentlichungen und innerhalb der Studien Plattenosteosynthesen (Reko, DCP), Cerclagen (Zuggurtungsosteosynthesen), intramedulläre Fixierungen mit Kirschner-Drähten und Resektionen genannt (vgl. Tab. 4-79). Tabn. 4-79a und 4-79b stellten bereits im Ergebnis-Teil die Auswertung der Studien und Fallberichte zu den lateralen Claviculapseudarthrosen dar. Insgesamt wurden in 36 Studien (inkl. Teilstudien) Angaben über laterale Claviculapseudarthrosen gefunden. Lediglich in 11 Studien mit insgesamt 60 Patienten konnten diese jedoch von Angaben zu den Claviculapseudarthrosen des mittleren Drittels abgetrennt werden (Berkheiser 1937, Ghormley 1941, Neer 1960, Calcagni 1964, Lies 1987, Jupiter 1987, Leitl 1987, Ebraheim 1997, Webber 2000, Der Tavitian 2002, Petrovic 2004).

Die Heilungsrate bei der operativen Therapie der lateralen Claviculapseudarthrosen ist unerwartet hoch und wird von den Autoren fast immer mit 100% angegeben. Lediglich Lies weist eine Konsolidierung von nur 90,9% (20 von 22 Patienten) nach Plattenosteosynthese aus (Lies 1987). Webber berichtet 2000 über 4 laterale Claviculapseudarthrosen, die er erfolgreich mit AO-Schrauben, teilweise Platten und Spongiosaplastik sowie Dacron-Schlingen versorgt (Webber 2000). Der Tavitian findet in der Literatur nur 11 Fälle lateraler Claviculapseudarthrosen, von denen fünf durch Resektion des lateralen Claviculafragments und fünf durch offene Reposition und interne Fixation mit nur bescheidenen Ergebnissen behandelt wurden. Er selbst berichtet jedoch über 8 von 8 seiner Patienten, die er nach Anwendung unterschiedlicher Verfahren mit 100%iger Knochenheilung und ohne postoperative Symptomatik entlassen konnte (Der Tavitian 2002). Widersprüchlich sind die Literaturangaben hinsichtlich des AC-Gelenks bei lateralen Claviculapseudarthrosen. Nach Der Tavitian darf in keinem Fall die Osteosynthese-Konstruktion zur Überbrückung des AC-Gelenks führen, während Köck ausführt, dass das AC-Gelenk zur besseren Stabilisierung meist überbrückt werden muss (Köck 1996).

5.4.3.5. Osteosynthesefördernde Therapien

Obwohl operativ-rekonstruktive Osteosyntheseverfahren wie die Plattenosteosynthese oder die intramedulläre Fixation per se gut geeignete Verfahren zur Therapie der Claviculapseudarthrose darstellen, sind ergänzende Therapieformen zur Unterstützung der knöchernen Durchbauung entwickelt worden. Sie werden additiv und teilweise auch alleinig eingesetzt. Tab. 4-81 des Ergebnis-Teils stellte bereits prinzipielle osteosynthesefördernde Therapien für die Claviculapseudarthrose und beispielhafte Autoren aus der Literatur zusammen. Dazu gehören u.a. die Transplantation von autologer/heterologer Knochenplastik (z.B. Knochenspongiosa und Corticalispan; engl.: Bone Graft; Rowe 1968), Transplantation von vaskularisierter corticoperiostaler Knochenplastik (z.B. aus Fibula oder Femoralcondyle; Fuchs 2005), Implantation von anorganischen Materialien (z.B. zerkleinerter corraliner Hydroxylapatit, Grafton (Kloen 2002), Osteovit (Petrovic 2004), Zement zur Auskleidung der Schraublöcher (Ebraheim 1997)), elektrische Stimulation mit Gleichstrom (Day 1981), Stimulation mit niedrig-energetisch gepulstem Ultraschalls (low-

Intensity pulsed ultrasound; Nolte 2001), Stimulation mit osteogenen Proteinen (z.B. Osteogenes Protein OP-1; Evans 2004) und die Vermeidung der postoperativen Einnahme von nichtsteroidalen Schmerzmitteln, um die Knocheninduktion nicht zu gefährden (Nowak 2001).

5.4.3.5.1. Implantation von Knochenspongiosa und Corticalispanen

Besonders die Verwendung von Knochenplastiken (Bone Graft) als interponiertes oder angelagertes osteogenes Füllmaterial zur Überbrückung des Pseudarthrose-Spaltens wird von vielen Autoren als geeignete Unterstützungsmaßnahme für eine erfolgreiche Heilung der Claviculapseudarthrose angesehen. Tab. 4-81 gab bereits einen Überblick über die bei den jeweiligen Osteosyntheseverfahren eingesetzten Materialien. Tab. 4-82 verdeutlichte dabei, dass vor allem Knochenplastiken des Beckenkamms (76,4%) bei der Osteosynthese von Claviculapseudarthrosen herangezogen werden, in vereinzelt Fällen jedoch auch aus anderen Entnahmestellen wie z.B. Tibia (11,4%), Fibula und Rippen. In jüngerer Zeit werden zunehmend auch vaskularisierte, also mit Blutgefäßen versehene Transplantate aus der Fibula (Wood 1987, Momberger 2000, Erdmann 2004) bzw. aus dem Femurcondylus (Fuchs 2005) gewonnen und mit guten Erfolgen zur Versorgung hartnäckig persistierender Claviculapseudarthrosen verwendet. Dabei können verschiedene Formen von Knochenplastiken zur Anwendung kommen: massive, fragmentierte, corticale, spongiöse, corticospongiöse, tricorticospongiöse (Nikiforidis 1996). Bei Vorliegen einer hypertrophen Pseudarthrose reicht dann gewöhnlich die bei der Callusbeseitigung lokal anfallende Knochenspongiosa aus und macht die Knochenimplantation mittels eines Knochenspanns aus dem Beckenkamm überflüssig. Auf diese Weise kann eine zusätzliche Traumatisierung des Patienten mit potentiellen zusätzlichen Komplikationen durch Wundheilungsstörungen oder Infektion an der Entnahmestelle des Beckenkammspanns vermieden werden (Wick 2001). Da es sich in den meisten Fällen jedoch um atrophische Claviculapseudarthrosen mit oft beträchtlicher Verkürzung der Knochenenden handelt und der Frakturspalt aufgefüllt werden muss, ist die Verstärkung der angefrischten Pseudarthrose mit Knochenimplantat ein integraler Bestandteil der operativen Claviculapseudarthrose-Versorgung (Sadiq 2001).

Zur Auffüllung *großer* Mengen fehlender Knochensubstanz mit dem Ziel der Wiederherstellung der ursprünglichen Länge der Clavicula kann ein V- oder T-förmiger corticospongiöser Span (Block) gestaltet und in die stufenförmig angefrischten Fragmentenden eingefalzt (Walcher 1973, Kehr 1975, Hansis 1989) oder ein intercalärer tricorticaler Beckenkammspan erforderlich werden. Auch Ballmer erzielt damit gute Heilungserfolge und empfiehlt den tricorticalen Span zu verwenden, wenn die Verkürzung der Clavicula mehr als 1,5 cm beträgt (Ballmer 1998; Jones 2000). Leupin vermisst die Länge der verwendeten Knochenplastiken, die sich im Bereich von 16-40 mm bewegen (Leupin 1998). Auch Muizhuilis macht gute Erfahrungen mit Autotransplantaten aus der Fibula, die er nach Entfernung von Knochensplittern und Sequestern aus der Claviculapseudarthrose zur Überbrückung des 2-4 cm großen Knochendefektes unter ‚*elastischer Einkeilung*‘ verwendet (Muizhuilis 1985).

Die Versorgung von Claviculapseudarthrosen mit großen segmentalen Defekten der Clavicula unter Zuhilfenahme eines freien vaskularisierten Fibula-Transplantates beschreibt erstmals Wood (Wood 1987). Dieses osteoseptokutane Transplantat diente bei einem von zwei Patienten, die mehrfache ergebnislose Osteosynthese-Versuche erlebt hatten, erfolgreich zur Überbrückung von einem ca. 6 cm großen Clavicula-Defekt im Zusammenhang mit einer Plattenosteosynthese. Auch Momberger nutzt in drei Fällen zum Defektausgleich ebenfalls autogene, vaskularisierte Fibula-Implantate, deren Gefäße er

u.a. an die A. thyrocervicalis anschließt und mit einer DCP erfolgreich bei nachfolgender knöcherner Konsolidierung stabilisiert (Momberger 2000). Erdmann berichtet vor kurzem ebenfalls über die Indikation für einen vaskularisierten freien Fibula-Transfer im Zusammenhang mit einer erfolgreichen DCP-Plattenosteosynthese bei zwei Fällen von persistierenden, mehrfach vergeblich osteosynthetisch versorgten Claviculapseudarthrosen (Erdmann 2004). Laut Evans ist diese Technik allerdings sehr anspruchsvoll, erfordert vor allem Erfahrung in der mikrovaskulären Chirurgie (Evans 2004) und stellt demnach ein exzellentes Verfahren für die Therapie von hartnäckigen Claviculapseudarthrosen dar, wenn konventionelle chirurgische Maßnahmen versagen (Erdmann 2004). Auch Fuchs gelingt 2005 die knöcherne Konsolidierung einer langjährigen, zeitweise infizierten, mehrfach vergeblich osteosynthetisch therapierten Claviculapseudarthrose eines 32-jährigen Patienten. Fuchs verwendet dazu ein freies vaskularisiertes corticoperiostales Knochentransplantat, das er aus der ipsilateralen medialen Femoralcondyle präpariert, um die mit einer LC-DC-Platte versorgten Pseudarthrosenstelle positioniert (vgl. Abb. 4.15), mikrovaskulär anastomosiert und mit einem groben nichtabsorbierbarem Faden sichert. Als vorteilhaft beschreibt er die einfache Anpassungsfähigkeit, die leichte Formbarkeit und die dünne Schichtstärke des vaskularisierten Transplantates, welches um die Clavicula gewickelt werden kann ohne voluminös aufzutragen oder seine Vaskularisation einzubüßen (Fuchs 2005).

Boyer beschreibt eine Variante zur Versorgung *atrophischer* Claviculapseudarthrosen. In seinem Verfahren erfolgt zunächst eine Exzision der Claviculapseudarthrose durch Schnitte im 45°-Winkel zur Längsachse der Clavicula, anschließend werden die Claviculafragmente mit einer Rekonstruktions- oder LCDC-Platte sowie einer interfragmentären Zugschraube zur Gewährleistung der interfragmentären Kompression bei gleichzeitiger Anlagerung von Beckenkamm-spongiosa fixiert. Interessanterweise führt die durch die Exzision bedingte Verkürzung der Clavicula und damit die Verengung des Schultergürtels um bis zu 2 cm nach Boyer zu keinen Einbußen hinsichtlich Funktion und kosmetischer Erscheinung der Schulter, was im starken Kontrast zur Meinung anderer Autoren steht, die die Wiederherstellung der ursprünglichen Claviculalänge ggf. durch Verwendung von interponierten Knochenspänen für essentiell erachten (Boyer 1997).

5.4.3.5.2. Implantation anorganischer Materialien

Ebraheim verwendet neben den üblichen Knochenplastiken (autologe Beckenkamm-Spongiosa bzw. -Knochenspan) auch zerkleinerten corralinen Hydroxylapatit sowie einen nicht näher beschriebenen Knochenzement zur Auskleidung der Schraublöcher und erhält damit bei der Plattenosteosynthese (DCP) bei 1 von 1 Patienten eine problemlose Heilung (Ebraheim 1997). Kloen hingegen setzt erstmals zur Osteoplastik bei Claviculapseudarthrosen neben Knochentransplantaten aus dem Beckenkamm (11 von 12 Patienten), aus nicht näher angegebenen Gründen, in einem Fall das Material ‚Grafton‘ (‚putty grafting‘) ein, was bisher in der Literatur so nicht beschrieben war (Kloen 2002). Grafton besteht aus einer demineralisierten Knochenmatrix (DBM), die als Grundstoff menschlichen Knochen enthält. Auch in diesem Fall resultiert die anteroinferiore Anbringung einer Rekonstruktionsplatte in einer problemlosen Heilung der Claviculapseudarthrose. Petrovic wiederum meldet einen osteosynthetischen Misserfolg, beim Versuch eine Claviculapseudarthrose mit einer Halbrohr-Platte und autologer Beckenkamm-Knochenplastik zu versorgen. Auch das bei der zweiten operativen Revision eingesetzte heterologe Material ‚Osteovit‘, welches aus einem porösen Kollagengerüst bovines Ursprungs (Spongiosa) besteht und vollständig resorbierbar ist, konnte die Persistenz der Pseudarthrose nicht verhindern (Petrovic 2004).

Bei 2 von 2 persistenten Claviculapseudarthrosen, die auch nach mehrfacher chirurgischer Revision nicht zur knöchernen Konsolidierung gebracht werden konnten, hat Evans positive Erfahrungen gemacht, durch unterstützende Verwendung von elektrischer Stimulation und der Anwendung des *osteogenen Protein 1* (OP-1, Fa. Stryker Biotech, Kalamazoo, MI) bei der letztendlichen Versorgung der Pseudarthrose durch Osteosynthese (AO-DCP) und Knochenplastik aus dem Beckenkamm (Evans 2004). In beiden Fällen konnte so eine komplikationslose Ausheilung der hartnäckigen Pseudarthrosen erreicht werden, wobei Evans jedoch keine Angaben zum postoperativen Beschwerdebild dieser Patienten macht.

5.4.3.5.3. Weitere Verfahren

Elektrische Stimulation

Fukuda beschrieb 1957 den piezoelektrischen Effekt am Knochen, wobei durch Einwirkung elektrischer Signale auf den Knochen eine Callusbildung induziert werden kann (Fukuda 1957, Eckhardt 1987). Brighton beweist unlängst die proliferative Antwort der Knochenzellen auf elektrische Stimulation auf biochemischer Ebene (Brighton 2001). Die elektrische Stimulation zur Behandlung von Claviculapseudarthrosen wurde bereits mehrfach diskutiert, zeigt aber bis heute nur einen umstrittenen Nützlichkeits-Beweis obwohl einige Autoren über Erfolge berichten. Day behandelt eine nach operativer Versorgung persistierende Claviculapseudarthrose ausschließlich über 12 Wochen mit einer Gleichstrom-Stimulation (20µA), die er über eine Elektrode direkt an der Stelle der Pseudarthrose einwirken lässt. Unter gleichzeitiger Immobilisierung mit einer Schiene kann er eine knöcherne Konsolidierung nach Abschluss der elektrischen Stimulation nachweisen (Day 1981). Eckhardt therapiert eine Claviculapseudarthrose mittels Plattenosteosynthese und Spongiosaplastik sowie zusätzlicher adjuvanter Elektrostimulation. Der verwendete implantierbare Impulsstromstimulator konnte durch seine bipolaren Rechteckimpulsströme die Knochenbildung und Transformation der autologen Spongiosa beschleunigen und somit die Konsolidierungszeit um mehrere Monate verkürzen. Naidu behandelt 31 Patienten mit der nichtinvasiven Strom-Therapie, wobei er sowohl DC- als auch CC-Strom verwendet und heilt 65% der Claviculapseudarthrosen. Bei den erfolglosen elektrischen Stimulationen findet er Patienten mit potentiellen Kontraindikationen: multiple vorausgehende offene Operationen, offene Frakturen, Refrakturen, Osteomyelitis, synoviale Pseudarthrosen und große Frakturspalte (Weber 1981, Eckhardt 1987, Naidu 1994, Leupin 1998).

Ultraschall-Therapie

In einer stratifizierten statistischen Studie kann Nolte mit der Anwendung eines niedrig-energetischen gepulsten Ultraschalls („low-Intensity pulsed ultrasound“) auf verschiedene Pseudarthrosen (Humerus, Radius, Ulna, Scaphoid, Femur, Tibia/Fibula), zeigen, dass diese Technik auch in einem Fall als alleinige (!) Therapie bei der Heilung von Claviculapseudarthrosen sinnvoll eingesetzt werden kann und zur Ausheilung der Claviculapseudarthrose beiträgt (Nolte 2001).

NSAID

In einigen Studien wird die postoperative Einnahme von nichtsteroidalen Schmerzmitteln (Ibuprofen, Indometacin u.a.) als kontraindiziert bewertet, um die Knocheninduktion nicht zu stören (Elmstedt 1985, Törnkvist 1985, Nilsson 1986, Nowak 2001).

5.4.3.6. Postoperative Immobilisation

Der postoperativen Immobilisation in Technik und Dauer verbunden mit den geeigneten passiven und aktiven Rehabilitationsübungen sowie der diesbezüglichen Compliance des Patienten muss eine ausschlaggebende Rolle bei der komplikationslosen Heilung der operierten Claviculapseudarthrosen zugewiesen werden. Eine inadäquate Immobilisierung einer osteosynthetisch versorgten Claviculafraktur bzw. Claviculapseudarthrose kann nach Ansicht vieler Autoren jeweils zu einem schlechteren Heilungsergebnis führen (Neer 1968, Jupiter 1987, Craig 1990, Mullaji 1994, Olsen 1995). Gemäß der AO-Empfehlungen kann bei stabiler Osteosynthese ein einfaches Armtragetuch bis zur abgeschlossenen Wundheilung getragen werden (Texhammar 1995). Rüedi präzisiert die postoperative Behandlungsempfehlung der AO: *... die Frakturen (Pseudarthrosen) sollten postoperativ stabil genug sein, um nach einer ersten Phase von 2 Wochen Pendeln aus der Schlinge heraus aktiv assistiert nachbehandelt werden zu können. Eine volle Funktion ist 4-6 Wochen postoperativ zu erwarten. Schwere Arbeit und Kontaktsport sollten nach 3-5 Monaten wieder möglich sein* (Rüedi 2003).

Demzufolge wird, was die Analyse der Studien und Fallberichte verifiziert, die Mehrheit der operativ versorgten Claviculapseudarthrosen (81-100%) postoperativ immobilisiert (vgl. Tab. 4-83a). Von allen Immobilisierungstechniken ist mit insgesamt 52% relativem Anteil die Armschlinge die am häufigsten angewandte. Als weitere Verbandstechniken sind in der Literatur und den Studien der Desault-, der Velpeau- und der Gilchrist-Verband genannt. Der Rucksackverband hingegen wird zur Immobilisierung nach Claviculapseudarthrosen-Chirurgie überraschenderweise fast nie eingesetzt. Dies gilt auch für Gipsverbände an Schulter, Oberarm und Thorax, deren Verwendung heutzutage nicht mehr üblich ist.

Die Zeitdauer der Immobilisation liegt in den ausgewerteten Studien und Fallberichten meist zwischen 0-10 Wochen (vgl. Tab. 4-83c). Bei Betrachtung der letzten 10 Jahre liegt diese bei ca. 2,9-3,2 Wochen, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den Verfahren der Plattenosteosynthese und den intramedullären Fixationen besteht. Mit passiven Bewegungsübungen wird durchschnittlich nach 0,7-1,9 Wochen begonnen, die dann über ca. 4-5 Wochen fortgeführt werden. Ab der 4-7 Woche können die meisten Patienten bereits aktiv ihre operierte Schulter und die dazugehörige Extremität bewegen. Eine volle Belastbarkeit sollte dann nach ca. 2,5 Monaten gegeben sein. Im Verlauf der Jahre konnte der Zeitraum der Ruhigstellung der Schulter nach operativ therapierter Claviculapseudarthrose deutlich von ca. 20 Wochen auf überwiegend weniger als 1-3 Wochen aufgrund der stabilisierenden Osteosyntheseverfahren gesenkt werden (Abb. 4-12).

Einigen Autoren verzichten auf eine postoperative Immobilisierung und weisen dennoch sehr gute Heilungsergebnisse aus bei Patienten, die mit sofortigen geeigneten Übungsbehandlungen ab dem 1. postoperativen Tag beginnen (vgl. Tab. 4-83b). Dies konnte für verschiedene Osteosyntheseverfahren erfolgreich gezeigt werden, wie z.B. nach Plattenosteosynthesen (Probst 1970, Kehr 1975, Hierholzer 1984, Hirschmann 1992, Mullaji 1994, Nowak 2001, Fuchs 2002, Marti 2003) und intramedullärer Fixation mit verschiedenen Nägeln (Küntscher 1952, Küntscher 1964, Jubel 2005).

5.4.3.7. Implantat-Entfernung

Von regelhafter Entfernung des Implantats nach einer vorgegebenen definierten Zeit, über Beschwerden- oder Komplikations-indizierte vorzeitige Entfernung bis hin zu permanenter Implantation sind alle Möglichkeiten realisiert. Mit Tabn. 4-84 und 4-85 wurde bereits im Ergebnis-Teil ein Überblick über die Verweilzeiten von Osteosyntheseimplantaten bei der

Versorgung von Claviculapseudarthrosen gegeben. Die Standzeiten der Implantate bewegen sich im Zeitraum von 1-24 Monaten. Zeitlich am schnellsten wird der Fixateur externe nach ca. 1,7 Monaten wieder ausgebaut während intramedulläre Implantate nach ca. 4-15 und Platten nach einer Zeitspanne von 8-24 Monaten entfernt werden können. In Einzelfällen erfolgte die Explantation der Platten erst nach 30-48 Monaten (Hackenbruch 1982, Kölliker 1989, Ballmer 1998, Laursen 1999, Marti 2003) bzw. sind diese - Beschwerdefreiheit vorausgesetzt - als dauerhafte Implantate vorgesehen (Simpson 1996). Implantate, die nicht entfernt werden mussten, beschreiben auch Nevasier, Mullaji 1994, Kloen 2002, Hoe-Hansen 2003). Kuner empfiehlt die Entfernung der DC-Platte nach frühestens 16-20 Monaten bzw. nach gesicherter knöcherner Heilung (Kuner 1979). Texhammer führt aus, dass Platten und Schrauben häufig Beschwerden verursachen und daher nach knöcherner Konsolidierung nach ungefähr 6-9 Monaten entfernt werden können/müssen (Texhammar 1995). Simpson sieht in den meisten Fällen eine Entfernung der Osteosynthese-Platte nicht als erforderlich an. Gelegentlich führt die Hardware jedoch zu Hautirritationen aufgrund ihrer Prominenz. Dann kann die Platte nach einer Mindestverweilzeit > 12 Monaten entfernt werden (Simpson 1996).

Die Explantations-Rate bei den intramedullären Verfahren liegt im Bereich 20-80%, während bei der Plattenosteosynthese ca. 63-97% der Plattenmaterialien vorzeitig oder zum geplanten Zeitpunkt ausgebaut werden. Der Anteil der vorzeitigen Entfernung liegt nach Verplattung bei 29-40%, während bei der intramedullären Fixation dieser Anteil geringer ist bzw. wenige Angaben dazu gemacht wurden (Tab. 4-84). Die Gründe für eine *vorzeitige* postoperative Metallentfernung nach chirurgischer Versorgung der Claviculapseudarthrose sind mannigfaltig, z.B. aufgrund von Lockerung, Wanderung oder Bruch des Implantats, Schmerzen, Hautirritationen und Bursitiden an der Operationsstelle oder kosmetischer Mängel.

5.4.3.8. Ergebnisse operativer Therapien der Claviculapseudarthrose

Knochenheilungszeit

Die erfolgreiche knöcherne Durchbauung der Frakturstelle ist als wesentliches Ziel der Therapie der Claviculapseudarthrose. Auch in diesem Fall sind jedoch die Methoden und Kriterien zur Feststellung dieses Zeitpunktes in der Literatur nicht klar definiert und die von den Autoren angegebenen Zeiten der Knochenheilung sehr unterschiedlich (vgl. Tab. 4-86). Ballmer betrachtet an Hand seiner Röntgenaufnahmen eine Knochenheilung als erfolgt, wenn die Frakturzone oder Graft/Host-Verbindung obliteriert ist durch den Callus oder wenn ein vollständiger periostaler Brücken-Callus vorhanden ist (Ballmer 1998). Die klinisch und radiologisch nachgewiesene Heilungszeit der operativ versorgten Claviculapseudarthrose beträgt nach Simpson 6-8 Wochen (Simpson 1996). 3 Monate nach dem rekonstruktiven Eingriff ist bei Simpson eine Rückkehr zu allen beruflichen und Freizeitaktivitäten möglich (Simpson 1996).

Nach Osteosynthese der Claviculapseudarthrose liegen die Knochenheilungszeiten durchschnittlich bei ca. 10-20 Wochen. Vergleicht man die Standardverfahren (Plattenosteosynthese oder intramedulläre Fixation) zur Therapie der Claviculapseudarthrose, so scheinen sich diese nicht wesentlich auf die Knochenheilungszeiten auszuwirken, die durchschnittlich bei diesen Verfahren 12-13 Wochen betragen. Lediglich unter den älteren Verfahren (gemischte Verfahren) tragen einige (z.B. Cerclagen) zu einem deutlichen Anstieg der mittleren Heilungszeiten bei (Thurnheer 1969). Auch kann der Einsatz eines Fixateur externe in einigen Fällen mit einer langen Heilungsphase verbunden sein (Nowak 2001).

Über verhältnismäßig kurze Knochenheilungszeiten von ca. 4 Wochen berichten Pyper bzw. Karaharju, die beide die Plattenosteosynthese bevorzugen (Pyper 1978, Karaharju 1982), aber auch Proubasta mit durchschnittlich nur 7 Wochen bei der Verwendung der Knochenschraube nach Herbert (Proubasta 2004). Die Begründung dieser kurzen Heilungszeiten bleiben die Autoren jedoch schuldig.

Heilungsraten und persistierende Claviculapseudarthrosen

Mit Tab. 4-87 wurde bereits die Auswertung der im Jahre 1974 verfügbaren *deutschen* Operationsergebnisse bei Claviculapseudarthrosen bezüglich der Knochenheilungsrate und dem Anteil von Komplikationen von Schewior auf Basis von 83 osteosynthetisch versorgten Claviculapseudarthrosen vorgestellt (Schewior 1974). Die Knochenheilungsrate nach operativer Versorgung der Claviculapseudarthrose danach für den Zeitraum 1959-1974 im Bereich von 33-100%, durchschnittlich bei ca. 88%. Der Anteil persistierender Claviculapseudarthrosen beträgt somit im Mittel ca. 12%. Schewior betont bei der Gegenüberstellung der verschiedenen Operationstechniken, wie notwendig eine möglichst *stabile* Osteosynthese ist. Er fordert ein Verfahren, das Kipp- und Drehstabilität im Falschgelenk zuverlässig und dauerhaft ausschaltet. Zudem ist das Verfahren im Detail zu standardisieren, um den variablen Verhältnissen am Schlüsselbein gerecht zu werden (Schewior 1974). Hinsichtlich der verschiedenen Verfahren kann Schewior verdeutlichen, dass sowohl die Plattenosteosynthesen als auch intramedulläre Fixationsverfahren zu einer vollständigen Ausheilung der Claviculapseudarthrosen führen können.

Auch aktuellere Publikationen (1989-2003, Tab. 4-88) geben die Heilungsraten der - nicht weiter präzierten - Osteosyntheseverfahren bei Claviculapseudarthrosen in einem Bereich von 80-95%, mit einem sehr ähnlichen Mittelwert von ca. 90% an (Kölliker 1989, Momberger 2000, Der Tavitian 2002, Rüedi 2003). Kölliker weist eine mittlere Konsolidierungsrate bei regelrecht ausgeführter Osteosynthese von mehr als 90% nach einmaliger Operation aus (Kölliker 1989, Klonz 2002). Momberger und andere Autoren stellen die Heilungsraten bei der Verwendung von ORIF (Plattenosteosynthese mit Knochenplastik bzw. intramedulläre Fixation und Knochenplastik) in einem Bereich von 85-95% dar (Neer 1960, Manske 1985, Jupiter 1987, Nevasier 1987, Momberger 2000). In einer weiteren Zusammenschau der Literatur wird von Der Tavitian die Gesamtheilungsrate bei der operativen Versorgung von 301 Claviculapseudarthrosen durch unterschiedlichste Verfahren mit 92% angegeben, was einer Rate persistierender Claviculapseudarthrosen von 8% entspricht (Der Tavitian 2002). Ein gutes bis sehr gutes Resultat bei der operativen Behandlung von Claviculapseudarthrosen wird nach Angaben der *Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese* in 80-95% der Fällen erwartet (Rüedi 2003).

Die mittlere Heilungsrate über alle Verfahren beträgt bei Auswertung der Studien ca. 93,2% und liegt in einem Bereich von ca. 76,5-96,0%. Der direkte Vergleich der Ergebnisse der Plattenosteosynthesen (96,0%) mit denen der intramedullären Fixationen (94,9%) lässt erstere leicht überlegen scheinen (Tab. 4-89). Gemischte Studien mit verschiedenen angewandten Osteosyntheseverfahren (Plattenosteosynthesen, intramedulläre Fixationen, Fixateur externe) sowie andere Verfahren (Cerclagen, Metalldrahtnaht, alleinige Spanplastik) weisen mit 90,1% bzw. 87,2% eine etwas schlechtere Heilungstendenz aus. Die Rate persistierender Pseudarthrosen ist bei den 3 Studien mit dem Fixateur externe mit über 23% relativ hoch, was an den schwierigen, oft septischen präoperativen Verhältnissen liegt.

Die Auswertung der Ergebnisse der letzten 10 Jahre (1996-2005) bestätigt die mit durchschnittlich 94,9% insgesamt hohe und noch weiter angestiegene Erfolgsrate der osteosynthetischen Versorgung der Claviculapseudarthrosen, wobei die Plattenosteosynthesen und die intramedullären Verfahren mit jeweils 95,2% Heilungsrate gleichwertig

erscheinen. Die einzelnen mittleren Knochenheilungsraten (vgl. Tab. 4-91) der nach Plattenmaterial (LCDCP, Rekonstruktionsplatte, DCP, STP) differenzierten und mit jeweils nur einem Plattenmaterial durchgeführten 46 Studien mit Plattenosteosynthesen liegen im Bereich von 97,1-100% insgesamt sehr hoch, wobei auch die Ergebnisse der Halbrohr-Platte (STP) mit 100%iger Konsolidierung sehr gut sind. Bei den Verfahren der intramedullären Fixation (vgl. Tab. 4-92) liegt nach Differenzierung in verschiedene Studien-Untergruppen die Gesamtheilungsrate im Bereich von 93,9-100%, durchschnittlich bei ca. 95,9%. Betrachtet man den Zeitraum der letzten 10 Jahre (1996-2005, Tab. 4-94) gesondert, so konnte mit den Methoden der intramedullären Fixation eine Knochenheilungsrate von durchschnittlich 95,2% erzielt werden (8 Studien, 63 Patienten). Bei der Analyse der Heilungsraten bezogen auf das jeweilige intramedulläre Verfahren (19 Studien mit 87 Patienten), zeigt sich, dass diese im Bereich von 88,9-100% liegen, wobei die Ergebnisse bei Kirschner-Draht-Fixierung mit 88,9% tendenziell schlechter ausfallen (vgl. Tab. 4-93).

Tab. 4-95 listet im Ergebnis-Teil wesentliche von den verschiedenen Autoren diskutierte kausale Faktoren für persistierende Claviculapseudarthrosen auf: (mehrfache) präoperative chirurgische Eingriffe (Olsen 1995, Ebraheim 1997), inadäquate Fixierung (Rowe 1968, Wilkins 1983, Jupiter 1987, Pedersen 1994), Implantat-Versagen (Eskola 1986, Jupiter 1987, Bradbury 1996), obsoletere Knochenplastik (Boehme 1991), atrophische Pseudarthrose (Neer 1968, Bradbury 1996) und Infektionen (Weber 1976, Bradbury 1996). Von diesen Ursachen erscheinen nach Der Tavitian ca. 50% als vermeidbare technische Fehler, wenn das richtige (?) Osteosynthesematerial gewählt wird (Der Tavitian 2002). In diesem Sinne beschreibt auch Leitl 2 persistierende von 28 verschiedenartig operierten Claviculapseudarthrosen. Der knöchernen Durchbau bleibt bei seinen Operationen dann aus, wenn eine intramedulläre Markdrahtung mit einer corticospongiösen Spanplastik kombiniert *und* die der Fraktur angelagerten Späne mit Drahtcerclagen versorgt werden. Nach Leitl muss die Kombination von intramedullärer Drahtung und Cerclage als ungünstig bewertet werden, da sowohl die intramedulläre als auch die periostale Blutversorgung des Knochens durch Beschädigung der Blutgefäße beeinträchtigt und dadurch die Frakturheilung gestört werden (Leitl 1987). Über das Problem der persistierenden Pseudarthrose trotz wiederholter Rekonstruktionsversuchen mit daraus bedingten großen segmentalen Defekten berichtet auch Momberger (Momberger 2000).

Komplikationen und Komplikationsraten

Zahlreiche Autoren berichten über ernsthafte Komplikationen und Rückschläge bei Anwendung verschiedener Therapieverfahren (Ghormley 1941, Rowe 1968, Edvardson 1977, Hargan 1981, Hackenbruch 1982-1, Karaharju 1982, Fontaine 1984, Neer 1984, Manske 1985, Eskola 1986-1, Schuind 1988, Boehme 1991). Dies ist umso bedeutsamer als auch bei nicht-therapierten Claviculapseudarthrosen das funktionelle (Langzeit-) Endergebnis in einigen Fällen gut sein kann (Rabenseifner 1981). In Tab. 4-96 des Ergebnis-Teils wurden häufige Komplikationsarten bei und nach Osteosynthesen von Claviculapseudarthrosen und beispielhafte Autoren zusammengestellt. Zu den häufigeren, in der neueren Literatur genannten Komplikationen gehören: persistierende Schmerzen (Wilkins 1983), Refrakturen (Capicotto 1994), persistierende Schulterdysfunktion (Bradbury 1996), Weichteilgewebe-Läsionen (Der Tavitian 2002), Implantat-Probleme (Der Tavitian 2002), Narben-Probleme (Der Tavitian 2002), neurovaskuläre Symptome durch iatrogene Gefäßläsionen durch Schrauben bei Plattenosteosynthesen (Shackford 2003), neurogenes TOS (Shackford 2003) sowie Komplikationen an der Entnahmestelle (z.B. Beckenkamm) der Spongiosa- bzw. Spanplastik (z.B. Parästhesien, Infektionen) (Babhulkar 2005).

Die retrospektive Auswertung von Der Tavitian ergibt als Häufungen von Komplikationen bei der operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose neben den persistierenden

Pseudarthrosen vor allem Weichteilgewebe-Läsionen (15%) sowie Probleme mit den Implantaten (6%) und den Hautnarben zu 2% (Der Tavitian 2002). Die 45 Weichteilgewebe-Läsionen bei 301 Patienten lagen u.a. an iatrogenen Verletzungen der V. subclavia und anderen Halsvenen (Neer 1960, Wilkins 1983, Eskola 1996), oberflächliche und tiefe Wundinfektionen sowie Stichabszesse (Weber 1976, Karaharju 1982, Wilkins 1983, Eskola 1996, Bradbury 1996). Bei der Komplikationsrate und der Fehlergebnisse ist jedoch nach Hierholzer zu berücksichtigen, dass in vielen Fällen eine Vorschädigung der Weichteile und der knöchernen Struktur vorgelegen hat (Hierholzer 1984).

Als Ursache von frühen postoperativen *Refrakturen* als Komplikationen der Claviculapseudarthrose-Versorgung wird von Capicotto die osteopenisch vorbelastete Clavicula älterer Patienten, die sich mit atropher Claviculapseudarthrose präsentieren, angesehen. Derartige Fälle sind auch bei anderen Autoren beschrieben (Sakellarides 1961, Manske 1985, Jupiter 1987, Capicotto 1994). Davids berichtet über eine Refraktur einer Clavicula, die sich der Patient im Rahmen eines adäquaten Traumas durch einen Sportunfall ein Jahr nach Entfernung der Rekonstruktionsplatte zugezogen hatte. Bemerkenswerterweise wurde die neue Claviculafraktur an der Stelle eines Schraubenlochs in Nähe der konsolidierten Pseudarthrose gefunden (Davids 1996). Nach Jupiter kann die Plattenosteosynthese per se mit einem neurogenen TOS assoziiert sein, was zu einer Entfernung der Platte zwingt (Jupiter 1987). Im Falle des Auftretens eines TOS sollte auch nach Shackford eine sofortige Entfernung des Osteosynthesematerials bzw. eine partielle oder totale Claviculektomie erfolgen (Shackford 2003).

Zu erwähnen sind auch Komplikationen, die an der Entnahmestelle von Spongiosa und Knochenspänen zur Verwendung als Spongiosa- bzw. Spanplastik bei Plattenosteosynthesen v.a. atropher bzw. Defekt-Claviculapseudarthrosen entstehen. So berichtet z.B. Babhulkar über Patienten, die transiente Parästhesien des N. fem. cut. lat. nach der anterioren Beckenkammspan-Gewinnung bzw. Schmerzen wegen Fraktur des Os ilium hatten (Babhulkar 2005). Auch Younger und Jubel betonen die Belastung des Zweiteingriffs am Beckenkamm, die mit einer hohen Morbiditätsrate einhergehen kann (Younger 1989, Jubel 2005).

Bis zu 75% der Patienten haben postoperative Beschwerden nach Operation der Claviculapseudarthrose, vor allem Schmerzen aber auch Schulterdysfunktionen im Sinne reduzierter oder abnormer Beweglichkeit des Schultergelenks oder Kraftminderung der Extremität (Wilkins 1989, Bradbury 1996, Der Tavitian 2002). Eine etwas geringere Gesamt-Rate der intra- und postoperativen Komplikationen sowie die der Beschwerden der Patienten ergibt sich bei Auswertung der weltweiten Studien und Fallberichte zur Osteosynthese der Claviculapseudarthrose (vgl. Tab. 4-98a). Sie liegt im Bereich von 24,6-52,9%. Umgekehrt bedeutet dies, dass weniger als 50% aller Operationen einen komplikationslosen Verlauf und gleichzeitig beschwerdefreie Patienten zum Ergebnis haben. Die Plattenosteosynthese ergibt mit 24,6-30,7% die geringste Rate an saldierten Komplikationen und Beschwerden. Betrachtet man den alleinigen Anteil der intra- und postoperativen Komplikationen sind die Unterschiede zwischen der Plattenosteosynthese und den intramedullären Verfahren in den letzten 10 Jahren mit 9,7% bzw. 11,7% eher gering. Reoperationen mussten bei den genannten Verfahren bei 5,4-22,2% der Fälle durchgeführt werden. Spezielle Komplikationen mit dem Implantat, wie z.B. Plattenlockerung oder Nagelwanderung kommen insgesamt bei 1,7-16,7% der operierten Patienten vor. Hierbei fällt auf, dass die neueren Verfahren der intramedullären Fixation mit 1,7% eine vergleichsweise geringe Rate des Implantat-Versagens haben. ‚Weichteil-Komplikationen‘ im Sinne von Wundheilungsstörungen, Thrombosen, Infektionen, etc. ereignen sich zu 1,7-11,7%. Auch hier ist auf eine relativ geringere Komplikationsrate der intramedullären Techniken in den letzten 10 Jahren hinzuweisen.

6. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit hatte im Rahmen einer retrospektiven Analyse der Literatur zum Ziel, die bis heute nur unzureichend und unvollständig dargestellte Problematik der Claviculapseudarthrose nach traumatischer Claviculafraktur umfassend und detailliert darzulegen. Als Hauptziele galten die Objektivierung und Quantifizierung der Berichts- und Datenlage, die Erfassung und Auswertung der epidemiologischen Aspekte, die Herausarbeitung und Bewertung ätiologischer Faktoren sowie die Evaluierung der Methoden und deren therapeutischer Effizienz bei der Behandlung der Claviculapseudarthrose.

Entgegen der häufigen Behauptung in der Literatur, dass über das Problem der Claviculapseudarthrose bislang wenig berichtet wurde, konnten zahlreiche Publikationen zu diesem Thema recherchiert werden. Besonders in den letzten Jahren hat die Berichtshäufigkeit sogar noch weiter zugenommen. Beweisend dafür basiert die vorliegende Auswertung auf mehr als 530 themenrelevanten Veröffentlichungen aus den Jahren 1815-2005 sowie auf 147 Studien und Fallberichten mit mehr als 1800 Patienten mit Claviculapseudarthrose.

Die Qualität der Studien ist insgesamt sehr heterogen. Ihr Aufbau, die Definition von Parametern sowie die Struktur der Auswertung und Darstellung sind sehr individuell. Die meisten Studien sind retrospektive Arbeiten und beinhalten nur eine kleine Anzahl von Patientenfällen, die über einen relativ großen Zeitraum erfasst wurden. In einer Vielzahl von Studien werden verschiedene operative Techniken ‚gleichzeitig‘ angewandt, was die Bewertung der Vor- und Nachteile des einzelnen chirurgischen Verfahrens schwierig bis unmöglich macht. Häufig wurden die operativen Eingriffe innerhalb ein und derselben Studie an verschiedenen Krankenhäusern, durch verschiedene Chirurgen und mit teilweise unterschiedlicher individueller Ausführungstechnik vorgenommen. 10 Studien sind statistisch unterlegt und 6 therapievergleichend. Die Studiendauern liegen in einer Zeitspanne von 1-46 Jahren, meist bei 4-12 Jahren. Die mittlere Patientenanzahl liegt bei 18,3. Fallberichte und ‚Studien‘ mit 1-5 Patienten stellen jedoch den Hauptteil dar. Nur 60,8% der Studien enthalten Angaben über Follow-Up-Zeiten, die in einem großen Bereich von 1-348 Monaten variieren und im Mittel bei 40,9 Monaten liegen. Problematisch ist die Unschärfe der zeitlichen Definition der Claviculapseudarthrose, die mit 3-12 Monaten angegeben wurde.

Epidemiologie

Der Anteil der Claviculapseudarthrosen an humanen Pseudarthrosen liegt bei ca. 2-6%. Die Claviculapseudarthrose-Rate nach traumatischer Claviculafraktur beträgt 0-16,7%, in Einzelfällen sogar 40-45%. Nach konservativer Therapie der Claviculafraktur ergibt sich eine mittlere Rate von ca. 3,2% gegenüber 5,4% nach operativen Verfahren. Intramedulläre operative Verfahren führen mit durchschnittlich 3,9% weniger oft zu Claviculapseudarthrosen als Plattenosteosynthesen mit 6,2%. Claviculapseudarthrosen stellen somit einen höheren Anteil der Komplikationen bei Claviculafrakturen dar als zumeist beschrieben. Die Jahresinzidenz der Claviculapseudarthrose liegt bei etwa 5-10/100.000 Einwohnern und ist mit ca. 4-8.000 betroffenen Patienten pro Jahr in Deutschland ein beachtenswertes Ereignis. Bei Berücksichtigung asymptomatischer sowie nicht erfasster, mild-symptomatischer Claviculapseudarthrosen muss die wahre Rate der Claviculapseudarthrosen noch höher angesetzt werden. Die Pseudarthrosenrate nach lateralen Claviculafrakturen fällt unter konservativer Therapie mit bis zu 44% hoch aus, nach operativer Versorgung liegt sie bei 0-32%.

91,2% der Claviculapseudarthrosen betreffen den mittleren Abschnitt, 8,2% das laterale und 0,6% das sternale Drittel der Clavicula. Ihre Verteilung ist mit 61,1% männlicher Patienten androtrop. Das Patienten-Alter bei Therapie der Claviculapseudarthrose liegt

im Bereich von meist 25-56 Jahren, durchschnittlich bei ca. 36 Jahren. Claviculapseudarthrosen treten mit 55,4% etwas häufiger rechtsseitig, zu 0,28% auch bilateral auf. Die morphologische Differenzierung ergibt 61,4% atrophe und 36,7% hypertrophe Ausprägungen. Oligotrophe, septische und Defekt-Pseudarthrosen kommen nur selten vor. Eine Unterscheidung zwischen avaskulären und hypervaskulären Formen wird vereinzelt, eine Einteilung in straffe und schlaife Pseudarthrosen aktuell nicht mehr vorgenommen. Von den Claviculapseudarthrosen, die in klinische Begutachtung kommen, sind 94,2% symptomatisch. 79,9% der Patienten klagen über Schmerzen in Ruhe und/oder in Bewegung sowie 56,7% über Funktionsminderungen der Schulter. Neurovaskuläre Symptome sind bei 17,9% und kosmetische Auffälligkeiten bei 14,1% beschrieben.

Ätiologie

Als wesentliche Ursachen und prädisponierende Faktoren für die Entstehung einer Claviculapseudarthrose wurden ein schweres Trauma bzw. Polytrauma, Mehrfragment- bzw. offene Frakturen, starke Dislokation bzw. initiale Verkürzung, Weichteilinterposition, Perfusionsstörungen, Infektionen, inadäquate operative Behandlung inkl. fehlerhafter Indikationsstellung und Implantatauswahl, ungenügende postoperative Immobilisation sowie Refrakturen ausgemacht. Insuffizient ist, dass kaum eine der 147 Studien bzw. Fallberichte konkret an Hand der jeweiligen Patienten-Kasuistiken auf eine mögliche oder definitive Verursachung der Pseudarthrose eingeht. Dies wird damit erklärt, dass die überwiegend therapeutisch ausgerichteten Studien meist nicht dem gesamten Verlauf von der Entstehung der Claviculafraktur bis zur Pseudarthrosebildung folgen.

Als sehr häufige Claviculapseudarthrosen-verursachende Traumaursachen gelten schwere Straßenverkehrsunfälle (54,2%) mit Pkw, Motorrad oder auch Fahrrad, aber auch Verletzungen bei Sport- und Freizeitaktivitäten sowie Stürze und Arbeitsunfälle. Bei 44,9% der Patienten bestand eine Dislokation der Frakturfragmente bzw. eine erhebliche Verkürzung der Clavicula. Der Anteil polytraumatischer Patienten liegt bei 6,6%. Die Zeitspanne vom initialen Trauma der Claviculafraktur bis zur operativen Versorgung der Claviculapseudarthrose variiert von wenigen Monaten bis zu 50 Jahren (Mittelwert 23,4 Monate). 70,3% der Claviculafrakturen, die zu Claviculapseudarthrosen führten, wurden initial konservativ (davon 64,1% mit Rucksackverband), 23,4% operativ und 6,3% nicht behandelt.

Therapie

Asymptomatische und gering symptomatische Claviculapseudarthrosen können in der Regel unbehandelt bleiben oder werden konservativ behandelt, deutlich symptomatische sind der operativen Versorgung zuzuführen. Dabei spielen die Plattenosteosynthese und die intramedulläre Fixation die Hauptrolle. Ergänzende Methoden nutzen organische bzw. anorganische Knochenmaterialien sowie physikalisch-technische Verfahren (z.B. Ultraschall-, Elektrostimulation). Die Plattenosteosynthese ist mit 43,8% im Gesamtzeitraum das meist angewandte Verfahren, wobei ihr Anteil in den letzten 10 Jahren auf über 68% zugenommen hat. Intramedulläre Fixationen sind mit ca. 10-15% vertreten. Der Anteil anderer rekonstruktiver bzw. resektiver Verfahren spielt heute kaum eine Rolle.

47,9% der verwendeten Platten sind Rekonstruktions-, 26,3% DC- und 11,1% LCDC-Platten. Ihre Hauptvorteile liegen in guter Rotationskontrolle, Wiederherstellung der normalen Claviculalänge und frühzeitiger postoperativer Übungsbehandlungen. Nachteilig erscheinen u.a. die weite Situs-Eröffnung, vermehrte Entfernung von periostalem und Weichteilgewebe, kosmetisch störende Prominenz der Platte, Hautirritationen, Behinderung bei Tragen spezieller Lasten, operativ-invasive Entfernung der Platte sowie erhöhtes Refraktur-Risiko nach Platten-Explantation. Mit der Rekonstruktionsplatte lassen sich beispielsweise Heilungsraten von durchschnittlich 97,3% erzielen.

Auch die intramedullären Fixationen (z.B. Kirschner-Draht, Rush-Pin, Steinmann-Nagel, Knowles-Pin, Küntscher-Nagel, Hagie-Pin, elastisch-stabiler intramedullärer Nagel, kanülierte Knochenschraube, intramedulläre Knochenschraube) scheinen in den vergangenen Jahren weiter zuzunehmen und in ihrer modernen Ausführungsform eine gleichberechtigte Alternative zur Plattenosteosynthese zu werden. Im gesamten Auswertungszeitraum wurde der Kirschner-Draht mit 25,8% am häufigsten eingesetzt. Vorteile der intramedullären Fixation sind u.a. eine kosmetisch akzeptable Inzision, geringe Entfernung von Weichteilgewebe, geringe Implantat-induzierte Osteoporose, wenig invasive Entfernung des Nagels in Lokalanästhesie und geringe Rate an Refrakturen nach Metall-Entfernung. Demgegenüber sind die schwierige Insertion des Implantats vor allem bei atrophen Fragmentenden in die S-förmige Clavicula, Verwindung oder Bruch des Nagels, unzureichende Fixation gegenüber Rotationskräften, Migration und Protrusion der Nägel als Hauptnachteile anzusehen.

In der Literatur existieren nur wenige direkt vergleichende Studien zur rekonstruktiven Osteosynthese der Claviculapseudarthrose. Aus der (Meta-)Analyse dieser Studien lässt sich keine eindeutige Favorisierung der Plattenosteosynthese oder der intramedullären Techniken ableiten. Auch Publikationen und Studien zu lateralen Claviculapseudarthrosen sind selten. Die angewandten Verfahren sind heterogen, führen jedoch überwiegend zu hohen Heilungsraten.

Der postoperativen Immobilisation in Technik und Dauer verbunden mit den geeigneten passiven und aktiven Rehabilitationsübungen muss eine ausschlaggebende Rolle bei der komplikationslosen Heilung der operierten Claviculapseudarthrosen zugewiesen werden. In diesem Sinne ergab sich aus den Studien, dass die überwiegende Mehrheit der operativ versorgten Claviculapseudarthrosen (81-100%) postoperativ immobilisiert wird. Jedoch weisen auch einige Autoren sehr gute Heilungsergebnisse aus, deren Patienten mit sofortigen geeigneten Übungsbehandlungen ab dem 1. postoperativen Tag begannen. Mit 52% ist die Armschlinge unter allen Immobilisierungstechniken die am häufigsten angewandte, wobei die mittlere Immobilisierungsdauer bei 2,9-3,2 Wochen liegt. Die Zeitdauer der Ruhigstellung der operativ therapierten Claviculapseudarthrosen konnte von vormals ca. 20 Wochen auf aktuell überwiegend weniger als 1-3 Wochen reduziert werden.

Die Entfernung der Metallimplantate erfolgt bei Plattenosteosynthesen mit einer Rate von 63-97%, bei intramedullären Verfahren von 20-80%. Intramedulläre Implantate werden nach ca. 4-15 und Platten nach rund 8-24 Monaten wieder ausgebaut. Die Gründe für eine vorzeitige postoperative Metallentfernung nach chirurgischer Versorgung der Claviculapseudarthrose sind v.a. Implantatversagen (z.B. Lockerung, Bruch), Schmerzen, Hautirritationen an der Operationsstelle sowie kosmetische Mängel.

Bei der Bewertung des Therapieerfolgs nach Claviculapseudarthrose-Operationen in Bezug auf Heilungszeiten, Heilungsraten und postoperative Komplikationen konnten als wichtige Einflussgrößen die Art und die Primärtherapie der Claviculafraktur, Art der Claviculapseudarthrose (Trophik, Lokalisation), Art und Ausführung des operativen Verfahrens, heilungsfördernde Begleittherapien, Dauer und Art der postoperativen Immobilisation und Übungsmaßnahmen sowie die Invasivität der Metallentfernung ermittelt werden.

Die Knochenheilungszeiten liegen im Bereich von ca. 9-34 Wochen, meist bei ca. 10-20 Wochen. Ein wesentlicher Einfluss der modernen Osteosyntheseverfahren auf die Heilungszeit scheint nicht existent zu sein. Die Knochenheilungsraten nach operativer Versorgung der Claviculapseudarthrose liegen nach älteren Literaturangaben je nach Verfahren bei 33-100%, durchschnittlich bei ca. 88%. Neuere Publikationen ermitteln sie bei ca. 90%, mit einem Schwankungsbereich von 80-95%. Die Auswertung aller Studien ergibt sie mit

76,5-96,0%, gemittelt 93,2%. Die Analyse der Ergebnisse der letzten 10 Jahre bestätigt die mit durchschnittlich 94,9% insgesamt hohe und noch weiter angestiegene Erfolgsrate der osteosynthetischen Versorgung der Claviculapseudarthrosen. Die Plattenosteosynthesen erscheinen mit durchschnittlich 95,2% gleichwertig zu den intramedullären Verfahren (95,2%) zu sein. Als Ursache für eine persistierende Claviculapseudarthrose werden (mehrfache) präoperative chirurgische Eingriffe, inadäquate Fixierung, Implantat-Versagen, fehlende Knochenplastik, atrophische Pseudarthrose und Infektionen diskutiert.

Zu den häufigeren Komplikationen nach Therapie der Claviculapseudarthrose gehören: persistierende Schmerzen, Refrakturen, persistierende Schulterdysfunktionen, Weichteil-Läsionen, Implantat-Versagen, Narbenbildungen, neurovaskuläre Symptome sowie Komplikationen an der Entnahmestelle der Knochenplastik. 24,6-52,9% der Patienten weisen postoperative Beschwerden, vor allem Schmerzen und Schulterdysfunktionen auf. Unter allen Verfahren ergibt die Plattenosteosynthese mit 24,6-30,7% die geringste Rate an Komplikationen und Beschwerden. Der Anteil der notwendigen Reoperationen liegt bei den genannten Verfahren bei 5,4-22,2%. Spezielle Komplikationen mit dem Implantat, wie z.B. Plattenlockerung oder Nagelwanderung kommen insgesamt bei 1,7-16,7% der operierten Patienten vor. Hierbei fällt auf, dass die neueren Verfahren der intramedullären Fixation mit 1,7% eine vergleichsweise geringe Rate des Implantat-Versagens haben. ‚Weichteil-Komplikationen‘ im Sinne von Wundheilungsstörungen, Thrombosen, Infektionen, etc. ereignen sich zu 1,7-11,7%.

Insgesamt klagen 18,0-47,6% der Patienten über Beschwerden nach operativer Versorgung der Claviculapseudarthrose und Konsolidation des Knochens. Die geringsten Beschwerde-Raten werden nach Plattenosteosynthesen mit 18,0-26,2% registriert. Postoperative Bewegungseinschränkungen werden von 13,2-25% der Patienten angegeben. 14,6-59,1% berichten über einen spürbaren Kraftverlust an der oberen Extremität. 13,9-30,3% der Patienten klagen über Schmerzen in Ruhe oder bei Bewegung bzw. über Empfindungsstörungen. Die kosmetischen Ergebnisse variieren im Bereich von 6,6-21,9%. Die Resultate der Plattenosteosynthese sind dabei mit 14,0-21,9% unbefriedigender als die der intramedullären Fixation mit durchschnittlich nur 8,8%. Die Behandlungsergebnisse nach verschiedenen Osteosynthese-Verfahren bei Claviculapseudarthrose sind jedoch schwierig summarisch zu vergleichen. Nimmt man den nur selten angegebenen Constant-Murley-Score als Basis, so scheinen die intramedullären Verfahren mit durchschnittlich 92,8 Punkten bessere Gesamtergebnisse als die Plattenosteosynthesen mit 87,7 Punkten zu liefern.

Zusammenfassend betrachtet ist die Claviculapseudarthrose als eine wichtige, epidemiologisch nicht seltene Komplikation nach traumatischer Claviculafraktur zu definieren. Die zahlreich ermittelten und analysierten Publikationen und Studien lassen die ätiologischen Ursachen qualitativ umfassend beschreiben, jedoch bislang nur unzureichend kausal ableiten sowie quantifizieren. Als Therapieoptionen stehen sich die Plattenosteosynthese und die intramedulläre Fixation auf einem jeweils hohen Erfolgsniveau gegenüber. Ein suffizienter direkter Vergleich der Verfahren in adäquaten Studien ist bis heute ausstehend.

7. Literaturverzeichnis

Abott	1954	Abbott L.C., Lucas DB, Function of the Clavicle: its surgical significance. Ann Surg 1954;140:583-99
Aggarwal	2005	Aggarwal S., Author reply: Late complications following clavicular fractures and their operative management, Injury 2005 Jan; 36(1):226
Albert	na	Albert, Lehrbuch der Chirurgie, 265 (in Lossen 1889)
Albert	1871	Albert E., Einige Fälle von interessanten Frakturen, Wien. Med. Presse, XII,22,1871
Albrecht	1981	Albrecht H.U., Bamert P., Die Claviculafraktur: Therapie und Komplikationen, Helv Chir Acta 1981;48:571-83
Albrecht	1982	Albrecht F., Kohaus H., Stedtfeld H.-W., Die Balsler-Platte zur acromio-claviculären Fixierung, Der Chirurg 53: 732-734 (1982)
Ali Khan	1978	Ali Khan M. A., Lucas H. K., Plating of Fractures of the Middle Third of the Clavicle, Injury, 9: 263-267, 1978
Allman	1967	Allman F.L., Fractures an ligamentous injuries of the clavicle and its articulations, J. Bone Joint Surg 49 A (1967) 774
Amesburg	1831	Amesbury J., Chirurg. Handbibliothek, Weimar 1831, Taf. I Fig. 8, Text S. 231
Andersen	1987	Andersen K., Jensen P.O., Lauritzen J., Treatment of clavicular fracture: figure of eight bandage versus a simple sling. Acta Orthop Scand, 1987;57:71-74
Annersten	1948	Annersten S., Ununited Clavicular Fractures, Upsala Läkfören, Förh., 53:29-37, 1948
Arens	1979	Arens W., Die Claviculafraktur. Die Diagnostik und konservative Therapie, Bericht über die Unfallmedizinische Tagung des Landesverbandes Rheinland -Westfalen der gewerblichen BG am 17./18.03.79 in Düsseldorf: 37: 61-65
Assennato	1929	Assennato G., Pizzetti M., Sulle pseudartrosi di clavicola, Atti XLIV Congr Soc It Ortop Traumatol, 511-525, 1959
Aycock	1971	Aycock T.M., Isom W., Crenshaw C.A., Rehfeldt F.C., Monoplegia and false aneurysm, South. Med. 64, 1165 (1971)
Babhulkar	2005	Babhulkar S., Pande K., Nonunion of the diaphysis of long bones; Clin Orthop Relat Res. 2005 Feb;(431):50-56
Baciu	1966	Baciu C., Zgarbura I., Lucas H.K., Marin I., Considérations étiopathogéniques et thérapeutiques sur les pseudarthroses de la clavicule. Acta Orthop. Belgica, 32: 911-919, 1966
Bailey	1991	Bailey H., Chirurgische Krankenuntersuchung, 8. Auflage 1991, S. 511, Johann Ambrosius Barth Verlag
Bakó	1965	Bakó G., Operative Behandlung von Schlüsselbeinbrüchen, Zbl. Chir. 90, 2075-2082 (1965)
Ballmer	1991	Ballmer F.T., Gerber C., Coracoclavicular screw fixation for unstable fractures of the distal clavicle. A report of five cases. J Bone Joint Surg (Br); 73 (2):291-294 (1991)
Ballmer	1998	Ballmer F.T., Lambert S.M., Hertel R., Decortication and plate osteosynthesis for nonunion of the clavicle. J Shoulder Elbow Surg. 1998 Nov-Dec;7(6):581-5
Bar	1992	Bar H.W., What is the proper position for the back dressing ?, Sportverletz Sportschaden 1992;6:182-3
Barbier	1997	Barbier D., Malghem J., Delaere O., Vandeberg B., Rombouts J.J., Injury to the brachial plexus by a fragment of bone after fracture of the clavicle, J Bone Joint Surg Br. 1997;79:534-536
Bardenheuer	1886	Bardenheuer B., Die Verletzungen der oberen Extremitäten, 1. Teil, Enke, Stuttgart 1886
Bargar	1984	Bargar W.L., Marcus R.E., Ittleman F.P., Late thoracic outlet syndrome secondary to pseudarthrosis of the clavicle, J Trauma 1984 (24): 857 -859
Barlassina	1960	Barlassina G., Gariboldi C., Martinelli F., Klinisch-statistische Betrachtungen über die Therapie der Schlüsselbeinfrakturen, Zentr.-Org. ges. Chir. 162, 109 (1960)
Basom	1947	Basom W.C., Breen L.W., Hecz J.R., Dual Grafts for Non-Union of the Clavicle, Southern Med. J., 40: 898-899, 1947
Bassett	1974	Bassett C.A.L., Pawluk R.J., Pila A.A., Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. Science 184:575, 1974
Bateman	1972	Bateman J.E., The Shoulder an Neck, Saunders, Philadelphia 1972
Bauer	1986	Bauer R., Wasenbelz U., Die stabile Schlüsselbeinosteosynthese mit der Kompressionsplatte nach Meves, Zentralbl Chir. 1986;111(7):414-20
Berkheiser	1937	Berkheiser E.J., Old ununited clavicular fractures in the adult, Surg Gynecol Obstet 1937;64:1064
Bigliani	1990	Bigliani L., Fractures of the Proximal Humerus. In: The Shoulder, p. 289, Ed by C.A. Rockwood Jr. And F. A. Matsen III. Philadelphia, W.B. Saunders, 1990
Blömer	1977	Blömer J., Muhr G., Tscherne H., Ergebnisse konservativer und operativ behandelter Schlüsselbeinbrüche. Unfallheilkunde 80 (1977), 237-242

Blömer	1980	Blömer J., Muhr G., Zwipp H., Ist die Osteosynthese von Schlüsselbeinbrüchen gerechtfertigt? Z. Orthop 118 (1980) 549
Blumenfeld	1947	Blumenfeld I., Pseudarthrosis of the long bones, J Bone Joint Surg, 29, 97-106, 1947
Boehme	1991	Boehme D., Curtis R.J. Jr., DeHaan J.T., Kay S.P., Young D.C., Rockwood C.A. Jr., Non-union of fractures of the mid-shaft of the clavicle. Treatment with a modified Hagie intramedullary pin and autogenous bone-grafting. J Bone Joint Surg Am. 1991 Sep;73(8):1219-26
Boehme	1993	Boehme D., Curtis R.J. Jr., DeHaan J.T., Kay S.P., Young D.C., Rockwood C.A. Jr., The treatment of nonunion fractures of the midshaft of the clavicle with an intramedullary Hagie pin and autogenous bone graft. Instr Course Lect. 1993;42:283-90
Böhler	1928	Böhler L., Die Ursachen der Pseudarthrosen-Bildung und ihre Behandlung, Klin Wschr 1928 II,1332-1334
Böhler	1933	Böhler L., Die Technik der Knochenbruchbehandlung, 4. Aufl., Maudrich, Wien 1933
Böhler	1941	Böhler L., Die Technik der Knochenbruchbehandlung im Frieden und im Kriege, 1941
Böhler	1951	Böhler L., Die Technik der Knochenbruchbehandlung, 12./13. Aufl. Bd 1, 534, 1951
Böhler	1956	Böhler L., Treatment of pseudarthroses of the clavicle, In: The treatment of fractures, pp. 536-539, Grune and Stratton, New York and London, 1956
Böstman	1997	Böstman O., Manninen M., Pihlajamaki H., Complications of plate fixation in fresh displaced midclavicular fractures, J Trauma 43:778-783, 1997
Bonnet	1975	Bonnet J., Fracture of the Clavicle, Arch. Chir. Neerlandicum, 27: 143-151, 1975
Bosworth	1941	Bosworth B.M., Acromioclavicular separation: a new method of repair. Surg Gynecol Obstet; 73:866-871 (1941)
Boyer	1997	Boyer M.I., Axelrod T.S., Atrophic nonunion of the clavicle: treatment by compression plate, lag-screw fixation and bone graft. J Bone Joint Surg Br. 1997 Mar;79(2):301-3
Bradbury	1996	Bradbury N., Hutchinson J., Hahn D., Colton C.L., Clavicular nonunion 31/32 healed after plate fixation and bone grafting. Acta Orthop Scand. 1996 Aug;67(4):367-70
Brighton	1975	Brighton C.T., FriedenberG Z.B., Zemsky L.M., Pollis R.P., Direct-current stimulation of nonunion and congenital pseudarthrosis. Exploration of its clinical application. J. Bone Joint Surg. 57A:368, 1975
Brighton	1984	Brighton C.T., Principles of fracture healing: In: AAOS Instructional Course Lectures, Murray J.A. (ed), St. Louis, Mosby, 1984, pp 60-82
Brighton	1987	Brighton C.T., Pollick S.R., Treatment of recalcitrant nonunion with a capacitatively coupled electric field. A preliminary report. J Bone Joint Surg., 1987, 67-A, 577-585
Brighton	2001	Brighton C.T., Wanh W., Seldes R., Zhang G., Pollacj S.R., Signal transduction in electrically stimulated bone cells. J Bone Joint Surg Am 2001;83:1514-1523
Brill	1968	Brill E., Spätergebnisse bei der konservativen und operativen Behandlung von Schlüsselbeinbrüchen, Verrenkungen im Schulterergelenk, Verrenkungen im Schlüsselbein-Brustbeinergelenk und Schulterblattbrüchen, Diss. Univ. München 1968
Brinker	2005	Brinker M.R., Edwards T.B., O'Connor D.P.; Comment on: Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of clavicular fracture; J Bone Joint Surg Am 2005 Mar; 87-A(3):676-677
Brodie	na	In: Amesburg J., Bemerkungen etc. Chirurg. Handbibliothek, Weimar 1831, 164
Broichmann	1965	Broichmann R., Behandlungsergebnisse der Pseudarthrosen, Diss. München 1965
Bronz	1981	Bronz G., Heim D., Pusterla C., Heim U., Die stabile Claviculaosteosynthese. Unfallheilkunde 84:319-325, 1981
Browner	1992	Browner B.D., Jupiter J.B., Levine A.M., Trafton P.C., Clavicular fractures, in Skeletal Trauma. Philadelphia: W.B. Saunders Co. 1992: 1303-1304
Bruck	1957	Bruck H., Salem G., Zur Drahtnagelung der Clavicularfrakturen, Klin Wochenschrift (Wien), 69, 195-197 (1957)
Brunelli	1953	Brunelli, Über Clavicularfrakturen, Zentr.-Org. ges. Chir. 131, 153 (1953)
Brunner	1992	Brunner U., Habermeyer P., Schweiberer L., Die Sonderstellung der lateralen Klavikulafraktur, Orthopäde 21: 163-171
Buda	1958	Buda D., Peria G., ital. Chir. 14, 900 (1958)
Bürkle d. I. Camp	1932	Bürkle de la Camp, H., Zbl. Chir. 59, 2796 (1932)
Calabrò	1958	Calabrò F., Trattamento mediante autoinnesto ed infibulamento di un caso di pseudo artrosi postraumatica della clavicola complicata da processo osteomielitico. Arch Ortop, 71,824-827, 1958

Calcagni	1964	Calcagni V., Della pseudoartrosi posttraumatica della clavicola, Minerva Ortop. 1964 Apr;15:136-145
Calvo	1995	Calvo E., Fernandez-Yruegas D., Alvarez L., Bilateral stress fractures of the clavicle; Skeletal Radiology 1995; 24:613-616
Campbell	1949	Campbell E., Howard W.P., Burklund C.W., Delayed Brachial Plexus Palsy Due to Ununited Fracture of the Clavicle. Report of a Case, J. Am. Med. Assn., 139: 91-92, 1949
Campell	1924	Campell W.C., Ununited fractures. Chic. med. recorder 46 (1924)
Camurati	1959	Camurati L., Nuovi aspetti dei traumatismi dell'apparato locomotore in rapporto con i tempi moderni. Relaz al XLIV Congresso della SIOT, Roma,28,1959
Capicotto	1994	Capicotto P.N., Heiple K.G., Wilbur J.H., Midshaft clavicle nonunions treated with intramedullary Steinman pin fixation and onlay bone graft. J Orthop Trauma. 1994;8(2):88-93
Carstensen	1956	Carstensen E., Eine Unfallstatistik aus der Chirurgischen Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf, Mschr. Unfallheilk. 59, 65 (1956)
Casanova	na	Casanova G., Traitement des pseudarthroses aseptiques. In Chirurgie de la clavicule. Encycl Med Chir Ed. Techniques, Paris, 44230, 11-13
Cave	1958	Cave E.F., Fractures and Other Injuries, p. 254, Chicago, The Year Book Publishers, Inc., 1958
Caviedes	1963	Caviedes A.H. de, Über einen Fall von Ermüdungsbruch des Schlüsselbeins; Z Orthop 97:217 (1963)
Cesarani	1947	Cesarani F., Pseudo-artrosi della clavicola da pregressa lesione traumatica, Ann di Rad Diagnostica,XIX,160-165,1947
Chalier	1930	Chalier M.A., Fractures de la clavicule avec pseudarthrose et trouble de compression. Presse Méd., 1930, 38, 785
Champouillon	1864	Champouillon, Gazette des Hopitaux 1864, 390
Chassaignac	1887	Chassaignac, Propositions etc. Thèse de Paris N 218 (in Lossen 1889)
Chen	2002	Chen D.J., Chuang D.C., Wie F.C., Unusual thoracic outlet syndrome secondary to fractures clavicle, J Trauma, 2002, 52, 393-399
Chu	2002	Chu C.M., Wang S.J., Lin L.C., Fixation of mid-third clavicular fractures with knowles pins: 78 patients followed for 2-7 years, Acta Orthop Scand 2002 Apr;73(2):134-139
Churchill	1822	Churchill J.M., London med. Repository Vol. 17, 1822, 289
Codivilla	1910	Codivilla A., Sul trattamento delle pseudoartrosi delle ossa lunghe, Arch di Ortop 27, 59, 1910
Connolly	1981	Connolly J., DePalmas's Management of Fractures and Dislocations. Third edition, Philadelphia, Saunders, 1981, pp. 524-544
Connolly	1986	Connolly J.F., Dehne R., Delayed thoracic outlet syndrome from clavicular non-union: Management by morseling. Nebr. Med J. 1986 Aug;71(8):303-6
Connolly	1989	Connolly J.F., Dehne R., Nonunion of the clavicle and thoracic outlet syndrome, J Trauma 1989(29):1127-1133
Constant	1987	Constant C.R., Murley A.H.G., A clinical method of functional assessment of the shoulder, Clin Orthop 1987;214:160-164
Constant	1991	Constant C.R., Schulterfunktionsbeurteilung, Orthopfide 1991;20:289-294
Cooper	1842	Cooper A., A Treatise on Dislocations and Fractures of the Joints. London, Churchill, 1842
Copland	1972	Copland S.M., Total resection of the clavicle. Am. J. Surg. 72:280, 197
Craig	1990	Craig E.D., Fractures of the clavicle. In: Rockwood C.A., Matsen F.A., editors. The shoulder. Philadelphia: Saunders, 1990:367-412
Craig	1991	Craig E.V., Fractures of the clavicle. In: Rockwood and green's fractures in adults. Vol I, 3 th ed. New York: J.B. Lippincott Company 1991, 928-990
Craig	1996	Craig E., Fractures of the clavicle. In: Rockwood and green's fractures in adults. 4 th ed. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1996, 1109-1122
Craig	1999	Craig E.V., Fractures of the clavicle, in: Rockwood C.A., Matsen F.A. (Eds.): The Shoulder, Saunders, Philadelphia 1999
Crone-Münzebrock	1959	Crone-Münzebrock A., Zur Behandlung der Claviculafrakturen, Chirurg 30, 233-235 (1959)
Daab	1965	Daab J., Krol E., Sonecki L., (Post-traumatic pseudarthrosis of the clavicle), Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol 1965;30(6):631-636 (polnisch)
Dal Monte	1960	Dal Monte A., Trabucchi L., Sul trattamento della pseudoartrosi di clavicola, Chir Organi Movim, 48, 161-168, 1960
Dameron	1989	Dameron T.B. Jr., External fixation of the clavicle for fracture or non-union in adults, J Bone Joint Surg Am., 1989 Sep;71 (8):1272

Dash	1960	Dash U.N., Handler D., A Case of Compression of Suclavian Vessels by a Fractured Clavicle Treated by Excision of the First Rib, J Bone and Joint Surg., 42-A: 798-801, 1960
Davids	1996	Davids P.H, Luitse J.S., Strating R.P., van der Hart C.P., Operative treatment for delayed union and nonunion of midshaft clavicular fractures: AO reconstruction plate fixation and early mobilization, J Trauma. 1996 Jun;40(6):985-6
Davis	1929	Davis J.W., The treatment of fractures of the clavicle with bone plates. The military surgeon, 64:241-243 (1929)
Day	1981	Day L., Electrical stimulation in the treatment of ununited fractures. Clin Orthop 1981;161:54-57
Deafenbaugh	1990	Deafenbaugh M.K., Dugdale T.W., Staeheli J.W., Nielsen R., Nonoperative treatment of Neer type II distal clavicle fractures: a prospective study. Contemp orthopaedics, 20(4),405-413 (1999)
Debakey	1965	Debakey M.E, Beall A.C., Wokasch D.C., Developments in vascular surgery, Am. J. Surg. 109, 134 (1965)
Della Santa	1991	Della Santa D., Narakas A., Bonnard C., Late lesions of the brachial plexus after fracture of the clavicle. Ann Chir Main Memb Super 1991;10:531-540
Der Tavitian	2002	Der Tavitian J., Davison J.N., Dias J.J., Clavicular fracture non-union surgical outcome and complications, Injury. 2002 Mar;33(2):135-43. Review
Dineen	1962	Dineen J.R., Gresham R.B., Rib Osteoperiosteal Grafts. A Preliminary Report of Their Use in the Treatment of Fresh an Ununited Fractures of the Long Bones. J Bone Joint Surg., 44-A: 1653-1658, 1962
Domingo-Pech	1971	Domingo-Pech J., El enclavado a compresion de las fractureas de clavícula con tornillo de esponjosa, Barcelona Quirurgica 1971:15:500-520
Durak	2002	Durak K., Sariozen B., Ozturk C., (Results of conservative treatment of midclavicular fractures), Ulus Travma Derg 2002 Okt;8(4):229-232
Duranti	1914	Duranti L., Trapianto libero di costola privo di periostico in un caso di resezione di clavicola. Arch. Ortop. (Milano), 1914
Duttweiler	1933	Duttweiler A., Diss. Zürich 1933
Eberle	1973	Eberle H., Klinik und Behandlung der frischen Claviculafrakturen. Hefte Unfallheilkd 114:165-179 (1973)
Ebraheim	1997	Ebraheim N.A., Mekhail A.O., Darwich M., Open reduction and internal fixation with bone grafting of clavicular nonunion. J Trauma. 1997 Apr;42(4):701-704
Echtermeyer	1984	Echtermeyer V., Zwipp H., Oestern H.J., Fehler und Gefahren in der Behandlung der Frakturen und Pseudarthrosen des Schlüsselbeins, Langenbecks Arch Chir 1984;364:351-354
Eckhardt	1987	Eckhardt B., Direct electrostimulation in the treatment plan of pseudarthroses, Zentralbl Chir 1987;112(2):89-98
Edvardsen	1977	Edvardsen P., Odegard O., Treatment of posttraumatic clavicular pseudarthrosis. Acta Orthop Scand. 1977;48(5):456-457
Edwards	1992	Edwards D.J., Kavanagh T.G., Flannery M.C., Fractures of the distal clavicle: a case for fixation. Injury 1992;23:44-46
Edwards	1999	Edwards A., Khan F., Smith A.L., Five case studies of soldiers with painful clavicular fracture non-union, J R Army Med Corps. 1999 Feb;145(1):31-3
Effenberger	1981	Effenberger T., Claviculafrakturen: Behandlung Nachuntersuchungsergebnisse. Chirurg 52 (1981), 121-124
Ehalt	1936	Ehalt W., Bemerkung zu Galm. Eigene Erfahrung bei der Bildung einer Klavicular - Pseudarthrose. Arch f Orthop u Unfall-Chir, 36,578,1936
Eliason	1928	Eliason E.L., Fractures of the Clavicle, J. Amer. Med. Ass. 91, 1974 (1928)
Elkin	1946	Elin D.C., Cooper F.W. Jr., Resection of the clavicle in vascular surgery, J Bone Joint Surg 1946;28:117-9
Ellman	1992	Ellman H., Constant functional score. Presented at The Fifth International Conference on Shoulder Surgery, Paris, 1992
Elmstedt	1985	Elmstedt E., Lindholm T.S., Nilsson O.S., Törnkvist H., Effect of ibuprofen on heterotopic ossification after hip replacement. Acta Orthop Scand 56: 25 -27, 1985
Engel	1970	Engel W., Ergebnisse der stabilen Osteosynthese von Schlüsselbeinbrüchen, Chirurg 41, 234-235 (1970)
Enker	1970	Enker S.H., Murphy K.K., Brachial plexus lesion by excessive callus formation secondary to a fractured clavicle. A case report. Mt Sinai J Med NY 37:678 (1970)
Enneking	1999	Enneking T.J., Hartlief M.T., Fontijne W.P., Rushpin fixation for midshaft clavicular nonunions: good results in 13/14 cases, Acta Orthop Scand. 1999 Oct;70(5):514-6
Erdmann	2004	Erdmann D., Pu C.M., Levin L.S.; Nonunion of the clavicle: a rare indication of vascularized free fibula transfer; Plast Reconstr Surg 2004 Dec;114(7):1859-1863
Eskola	1986-1	Eskola A., Vainionpää S., Myllynen P., Patiala H., Rokkanen P., Surgery for ununited clavicular fracture, Acta Orthop Scand. 1986 Aug;57(4):366-367
Eskola	1986-2	Eskola A., Vainionpää S., Myllynen P., Patiala H., Rokkanen P., Outcome of clavicular fracture in 89 patients, Arch Orthop Trauma Surg 1986;105:337-338

Eskola	1987	Eskola A., Vainionpää S., Pätiälä H., Rokkanen P (1987), Outcome of operative treatment in fresh lateral clavicular fractures. <i>Ann Chir Gynae</i> 76:167-169
Esmarch	1893	v. Esmarch F., Kowalzig E., <i>Handbuch der Kriegschirurgischen Technik</i> , 4. Aufl., Lipsius und Tischer, Kiel 1893
Evans	2004	Evans R.O., Goldberg J.A., Bruce W.J., Walsh W., Reoperated clavicular nonunion treated with osteogenic protein 1 and electrical stimulation, <i>J Shoulder Elbow Surg.</i> 2004 Sep-Oct;13(5):573-575
Everke	1969	Everke H., Kinj K., Ergebnisse der konservativen und operativen Behandlung der Claviculafrakturen, <i>Chirurg</i> 1969 (40), 129-132
Ewerwahn	1963	Ewerwahn W.J., Zur Behandlung des Schlüsselbeinbruchs, <i>M Schr. Unfallheilkunde</i> 1963 (66), 344-359
Fabeck	1964	Fabeck P., Les fractures de la clavicule. <i>Acta orthop. Belg.</i> 30, 491, 1964
Fann	2004	Fann C.Y., Chiu F.Y., Chuang T.Y., Chen C.M., Chen T.H., Transacromial Knowls pin in the treatment of Neer Type 2 distal clavicle fractures. A prospective evaluation of 32 cases; <i>J Trauma</i> 2004 May;56(5):1102-1105
Fedyn	1984	Fedyn A.A., Zhgun E.I., Kravzhul G.M., Kovtun V.V., (Treatment of pseudarthroses of the clavicle), <i>Ortop Travmatol Protez</i> 1984 Feb;(2):51-52 (russisch)
Flatow	1993	Flatow E.I., The biomechanics of the acromioclavicular, sternoclavicular and scapulothoracic joints. In: <i>American Academy of Orthopaedic Surgeons Instructional Course Lectures</i> , vol 42, ed by Heckmann J.D., Tauntun, Massachusetts, Rand McNally, 1993, 237-245
Flavin	2004	Flavin R.A., Fleming F., Shanley L., Kelly I.P., Closed treatment of clavicle fractures results in reduced shoulder strength, <i>Eur J Orthop Surg & Trauma</i> , 14(2), 84-88, 2004
Flinkkilä	2002	Flinkkilä T., Ristinemi J., Hyvönen P., Hämäläinen M., Surgical treatment of unstable fractures of the distal clavicle: a comparative Study of Kirschner wire and clavicular hook plate fixation; <i>Acta Orthop Scand</i> 2002 Jan;73(1):50-53
Foco	1946	Foco G., Pseudo-artrosi clavicolare, <i>Annali di Radiologica Diagn</i> , XVIII,93,1946
Fontaine	1984	Fontaine C., D'Herbomez, O., Gougeon F., Mestdagh H., Traitement chirurgical des pseudarthroses de la clavicule. A propos de 13 cas. <i>Acta Orthop. Belgica</i> , 50: 769-780, 1984
Frank	1965	Frank R., Frakturenbehandlung mit dem Rush-Pin - Ein Beitrag zum Problem der Osteosynthese, <i>Zentralbl. Chirurgie</i> 1965 (90), 1742
Franke	1964	Franke D., Beitrag zur Pseudarthrosenbehandlung von Radius, Ulna und Clavicula, <i>Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed.</i> 1964 Nov;67:473-478
Friedrich	1973	Friedrich B., Krine J. R., Zur Ätiologie von Pseudarthrosen, <i>M Schr. Unfallheilk.</i> 76, 308-325 (1973)
Frymoyer	1993	Frymoyer J.W., <i>Orthopaedic Knowledge Update. Vol 4. American Academy of Orthopaedic Surgeons Illinois</i> 1993;25:290
Fuchs	2002	Fuchs M., Losch A., Sturmer K.M., Surgical treatment of fractures of the clavicle - Indication, surgical technique and results, <i>Zentralbl Chir.</i> , 2002 Jun; 127(6):479-484
Fuchs	2005	Fuchs B., Steinmann S.P., Bishop A.T., Free vascularized corticoperiosteal bone graft for the treatment of persistent nonunion of the clavicle, <i>J Shoulder Elbow Surg.</i> 2005 May-Jun; 14(3):264-268
Fujita	2001	Fujita K., Matsuda K., Sakai Y., Sakai H., Mizuno K., Late thoracic outlet syndrome secondary to malunion of the fractures clavicle: case report and review of the literature, <i>J Trauma</i> 2001; 50; 332-335
Fukuda	1957	Fukuda E., Yasuda I., On the piezoelectric effect of the bone, <i>J Physiol Soc Jpn</i> 1957;12:1158-1162
Galle	1971	Galle P., Zur Behandlung der Pseudarthrose des Schlüsselbeins, <i>Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed.</i> 1971 Okt;14(10):478-482
Galm	1935	Galm A., Eigene Erfahrung bei der Bildung einer Klavicular -Pseudarthrose, <i>Arch f Orthop u Unfall-Chir</i> ,35,586,1935
Gardella	1946	Gardella G., Su di un caso di pseudartrosi della clavicola, <i>Radiol Med</i> , 32, 2-4, 1946
Gardner	1968	Gardner E., The embryology of the clavicle, <i>Clin Orthop Scand</i> , 1968, 58, 9
Garnier	2003	Garnier D., Chevalier J., Ducasse E., Modine T., Espagne P., Puppincq P., Arterial complications of thoracic outlet syndrome and pseudarthrosis of the clavicle: three patients. <i>J Mal Vasc.</i> 2003 Apr;28 (2):79-84
Geiser	1963	Geiser M., Beiträge zur Biologie der Knochenbruchheilung. <i>Z. orthop. Chir.</i> (Beihefte) 97 (1963)
Gerdy	1828	Gerdy P.N., <i>Chirurgische Verbandlehre</i> , Landes-Industrie-Comptoir, Weimar 1828
Gerdy	1834	Gerdy P.N., <i>Archives générales de Méd.</i> 2.Serie T. 6, 1834, 262, Obs. 2
Gerdy	1856	Gerdy P.N., <i>Gaz. Des Hpitaux</i> , 1856, 443

Gerhardt	1958	Gerhardt F., Zur Markdrahtung der Klavikulafrakturen, Wien med Wschr 108:982-984 (1958)
Ghormley	1941	Ghormley R. K., Black J. R., Cherry, J. H., Ununited Fractures of the Clavicle, Am. J. Surg., 51: 343-349, 1941
Golser	1991	Golser K., Sperner G., Thöni H., Resch H., Früh- und mittelfristige Ergebnisse konservativ und operativ behandelter Klavikulafrakturen, Akt Trauma 21(4);148 - 152, 1991
Gorré	1836	Gorré F., Archives générales de Méd. 2. Ser. Taf. XI 1836, 374
Gossard	1998	Gossard J.M., Comment on: Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results, J Bone Joint Surg Br. 1998 May;80(3):558
Grand	1971	Grand Y., Les pseudarthroses de la clavicule. Thèse Médecine. Lyon, 1971
Grassi	2001	Grassi F.A., Tajana M.S., D'Angelo F., Management of midclavicular fractures: comparison between nonoperative treatment and open intramedullary fixation in 80 patients, J Trauma 2001 Jun;50(6):1096-1100
Gruber	1860	Gruber W., Bulletin de l'Académie impériale des Sciences de St. Pétersbourg, T.I. 1860, 330
Gryska	1962	Gryska P.F., Major vascular injuries, N. Engl. J. Med. 266, 381 (1962)
Gualtieri	1964	Gualtieri G., Lanzi F., Considerazioni sulla pseudartrosi posttraumatica della clavicola. Minerva ortop. 15, 196-202, 1964
Guarini	1960	Guarini A., Ricciardello F., Sulla pseudoartrosi post-traumatica della clavicola, La Clinica Ortop, 12, 171-179, 1960
Guelinckx	1996	Guelinckx P.J., Sinsel N.K., The 'Eve' procedure: the transfer of vascularized seventh rib, fascia, cartilage and serratus muscle to reconstruct difficult defects. Plast Reconstr Surg 1996;97:527-535
Günther	1980	Günther H., Grenzindikationen zur operativen Versorgung von Knochen- und Gelenkverletzungen des Schultergürtels, Unfallheilkunde 83: 65-67 (1980)
Gumener	1979	Gumener R., Les fractures de la clavicule. Etude de 70 cas traités par la méthode des anneaux, Med. et hyg., 37: 2779-2792, 1979
Gurd	1941	Gurd F.B., The treatment of complete dislocation of the outer end of the clavicle: a hitherto undiscipred operation, Ann Surg 1941;113:1094-8
Gurd	1947	Gurd F.B., Surplus parts of the skeleton. Am. J. Surg. 74(5):705, 1947
Gurlt	1862	Gurlt, Handbuch der Lehre von den Knochenbrüchen, 1862, 615
Hackenbruch	1982-1	Hackenbruch W., von Gumpfenberg S., Operative Behandlung der Klaviculapseudarthrosen, Z. Orthop. 120 (1982) 621
Hackenbruch	1982-2	Hackenbruch W., von Gumpfenberg S., Die operative Therapie der Clavicula-Pseudarthrose, Unfallheilkunde. 1982 Nov;85(11):478-81
Hackenbruch	1994	Hackenbruch W., Regazzoni P., Schwyzer K.: Osteosynthese der lateralen Klavikula mit Klavikula-Hakenplatte, Orthop Praxis 30 (1994) 762
Hackstock	1988	Hackstock H., Hackstock H., Zur operativen Behandlung von Schlüsselbeinbrüchen, Unfallchirurg 91:64-69 (1988)
Hagemann	1982	Hagemann H., Meeder P.J., Die Schlüsselbeinpseudarthrose - eine vermeidbare Komplikation ?, Unfallchirurgie. 1982 Apr;8(2):88-91
Hahutov	1926	Hahutov S.D., Pseudartrozele claviculei, Vestnik hir. i pogr. obl, Moskva, 6, 17-18, 1926
Hamilton	1854	Hamilton, Fractures 1854, 187
Hansis	1989	Hansis M., Weller S., Die operative Behandlung der Klaviculapseudarthrose, Operat Orthop Traumatol 1989;3:139-44
Hansky	1993	Hansky B., Murray E., Minami K., Körfer R., Delayed brachial plexus paralysis due to subclavian pseudoaneurysm after clavicular fracture. Eur J Cardiothorac Surg 7: 497-498 (1993)
Hargan	1981	Hargan B., Macafee A.L., Bilateral pseudarthrosis of the clavicles, Injury 1981;12:316-8
Heim	1972	Heim U., Pfeiffer K.M., Periphere Osteosynthesen. Springer, Berlin - Heidelberg - New York (1972)
Heim	1991	Heim U., Pfeiffer K.M., Periphere Osteosynthesen. Springer, Berlin - Heidelberg - New York (1991)
Heim	1984	Heim Ch., Scharplatz D., Knochendefekte als extreme Form einer atrophien Klaviculapseudarthrose, Hefte Unfallheilk. 163: 380-381 (1984)
Helferich	1898	Helferich H., Atlas und Grundriß der traumatischen Frakturen und Luxationen. München: J.F. Lehmann 1898
Helwig	2004	Helwig P., Stuby F., Eingartner C., Weise K., Ergebnisse nach plattenosteosynthetischer Behandlung von Klaviculapseudarthrosen, 68. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie, 19. - 23.10.2004, Berlin

Heppenstall	1975	Heppenstall R.B. (1975), Fractures and dislocations of the distal clavicle, Orthop Clin North Am., 6, 447
Herbsthofer	1994	Herbsthofer B., Schütz W., Mockwitz J. (1994), Indikation zur operativen Versorgung von Klavikulafrakturen. Akt Traumatol 24:263-268
Hicks	1976	Hicks J. H., Rigid Fixation as a Treatment for Hypertrophic Non-Union, Injury, 8: 199-205, 1976
Hierholzer	1984	Hierholzer G., Klavikulapseudarthrosen, Hierholzer G., Hax P.M., Christian R., Hefte Unfallheilkd. 1984;170:11-22
Hildebrandt	1976	Hildebrandt G., Arnhold G., Osteosynthesen bei Pseudarthrosen (1969-1972), Beitr Orthop u Traumatol 23, 157-159 (1976)
Hill	1997	Hill J.M., McGiure M.H., Crosby L.A., Closed treatment of the displaced middle third fractures gives poor results, J Bone Joint Surg., 1997, 79-B, 537-539
Hippe	1977	Hippe P., Zur Behandlung von Schlüsselbeinpseudarthrosen, Orthop Praxis 7/XIII, 496-499 (1977)
Hirschmann	1991	Hirschmann S., Clavicula: Fraktur und Pseudarthrosen - Eine prospektive Untersuchung zur Therapieoptimierung. Diss Univ Münch n, 1992
Hoe-Hansen	2003	Hoe-Hansen C.E., Norlin R., Intramedullary cancellous screw fixation for nonunion of midshaft clavicular fractures. Acta Orthop Scand. 2003 Jun;74(3):361-364
Hoffa	1888	Hoffa, Lehrbuch der Fracturen und Luxationen, 1888, 159
Hofmann	1988	Hofmann G.O., Hertlein H., Lob G., Klavikula: Frakturen und Pseudarthrosen, Hefte Unfallheilkd 1988, 195:211-218
Hofmeister	1914	v. Hofmeister F., Verbandtechnik, 2. Aufl., Laupp, Tübingen 1914
Holland	1982	Holland C., Walter E., Operative Behandlung der Schlüsselbeinpseudarthrose, Z. Orthop. 120:622 (1982)
Holmes	na	Holmes, System of Surgery, 529 (in Lossen 1889)
Howard	1965	Howard F.M., Shafer S. J., Injuries to the Clavicle with Neurovascular Complications. A Study of Fourteen Cases. J Bone and Joint Surg., 47-A:1335-1346, 1965
Hudak	1996	Hudak P.L., Amadio P.C., Bombardier C., Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand). The Upper Extremity Collaborative Group (UECG). Am J Ind Med 1996;29:602-608
Hüter-Lossen		Hüter-Lossen, Grundriß der Chirurgie, Bd II, 8 (in Lossen 1889)
Hughes	1988	Hughes A.W., Sherlock D.A., Bilateral thoracic outlet syndrome following non-union of clavicles, associated with radioosteoarthritis. Injury 1988 Jan;19(1):40-1
ICD-10	1999	ICD-10, 10. Revision, Band I, Januar 1999; Verlag Hans Huber, Bern...
Imatani	1975	Imatani R.J., Hanlon J.J., Cady G.W., Acute complete acromioclavicular separation, J Bone and Joint Surg., 1975, 57-B, 328-332
Iqbal	1971	Iqbal Q.M., Axillary artery thrombosis associated with fracture of the clavicle, Med. J. Malaya 26, 68 (1971)
Jablon	1979	Jablon M., Sutker A., Post M., Irreducible Fracture of the Middle Third of the Clavicle. Report of a Case. J. Bone and Joint Surg., 61-A: 296-298, 1979
Jäger	1984	Jäger M., Breitner S., Therapiebezogene Klassifikation der lateralen Klavikulafrakturen, Unfallheilkunde 87 (1984) 467
Jahn	1989	Jahn R., Friedrich B, Armplexusschädigung durch atypische Kallusbildung nach Klavikulafraktur. Unfallchirurg 92: 227-228 (1989)
Johnson	1963	Johnson E.W. Jr., Collins H.R., Nonunion of the Clavicle, Arch Surg. 1963 Dec;87:963-6
Jones	2000	Jones G.L., McCluskey G.M. 3 rd , Curd D.T., Nonunion of the fractured clavicle: evaluation, etiology, and treatment. J South Orthop Assoc. 2000 Spring;9(1):43-54. Review
Joukainen	1977	Joukainen J., Karaharju E., Pseudarthrosis of the clavicle; Proceedings, J Bone Joint Surg 1977(48) 550-551
Jubel	2002-1	Jubel A., Andermahr J., Faymonville C., Binnebosel M., Prokop A., Rehm K.E., Wiederherstellung der Symmetrie des Schultergürtels bei Klavikulafrakturen – Elastisch stabile intramedulläre Osteosynthese vs. Rucksackverband, Chirurg. 2002 Oct;73 (10):978-981
Jubel	2002-2	Jubel A., Andermahr J., Schiffer G., Rehm K.E., Die Technik der intramedullären Osteosynthese der Klavikula mit elastischen Titannägeln, Unfallchirurg. 2002 Jun; 105(6):511-516
Jubel	2003	Jubel A., Andermahr J., Schiffer G., Tsironis K., Rehm K.E., Elastic stable intramedullary nailing of midclavicular fractures with a titanium nail, Clin Orthop 2003 Mar;(408):279-285
Jubel	2005	Jubel A., Andermahr J., Weisshaar G., Schiffer G., Prokop A., Rehm K.E., Die intramedulläre Nagelung (ESIN) von Klavikulapseudarthrosen. Ergebnisse einer prospektiven Anwendungsbeobachtung, Unfallchirurgie, 3. Mai 2005 (Online-Publikation)
Judet	1958	Judet R., Judet J., Roy-Camille R., La vascularisation des os longs d'après une étude clinique et expérimentale. Rev. Chir. Orthop. 44:5, 1958

Judet	1964	Judet J., Judet R., Fractures du col chirurgical de l'humérus, Acta Orthop. Belgica, 30: 243-246, 1964
Jupiter	1987	Jupiter J.B., Leffert R.D., Non-union of the clavicle. Associated complications and surgical management, J Bone Joint Surg Am. 1987 Jun;69(5):753-760
Jupiter	1989	Jupiter J.B., Nonunion of the Clavicle, Complic. Orthop., 4: 29-32, 1989
Kabak	2004	Kabak S., Halici M., Tuncel M., Avsarogullari L., Karaoglu S., Treatment of midclavicular nonunion: comparison of dynamic compression plating and low-contact dynamic compression plating techniques, J Shoulder Elbow Surg. 2004 Jul-Aug; 13(4):396-403
Kalbermatten	2004	Kalbermatten D.F., Haug M., Schaefer D.J., Wolfinger E., Schumacher R., Messmer P., Pierer G., Computer aided designed neo-clavicle out of osteomized free fibula: case report. Br J Plast Surg. 2004 Oct;57(7):668-672
Kaplan	1970	Kaplan D., Praxis 48 (1970) 1686-1692 u. Praxis 49 (1970) 1718-1731
Karaharju	1982	Karaharju E., Joukainen J., Peltonen J., Treatment of pseudarthrosis of the clavicle. Injury. 1982 Mar;13(5):400-3
Karitzky	1956	Karitzky B., Handbuch der gesamten Unfallheilkunde, 2. Aufl. Bd. 3, Stuttgart: Ferdinand Enke 1956
Karwasz	1988	Karwasz R.R., Kutzner M., Kramme W.-G., Plexus-Brachialis-Spätläsion nach Claviculafraktur, Unfallchirurg, 91: 45-47, 1988
Kavanagh	1985	Kavanagh T.G., Sarkar S.D., Philips H., (1985), Complications of displaced fractures (type 2) of the outer end of the clavicle., J Bone Joint Surg, 67B, 492-493
Kay	1986	Kay S.P., Eckhardt J.J., Brachial plexus palsy secondary to clavicular nonunion. Case report and literature survey. Clin Orthop 1986 (206):219-222
Kehr	1975	Kehr H., Technik und Ergebnisse der Behandlung von Schlüsselbeinpseudarthrosen, Hefte Unfallheilkunde 1975 Nov;(126):354-356
Kessel	1982	Kessel L., Injuries of the shoulder. In: Wison J.N., ed. Watson Jones: Fractures and Joint Injuries. New York: Churchill Livingstone, 1982:533-534
Key	1951	Key J.A., Conwell H.E., Management of Fractures, Dislocations and Sprains, ed. 5, St. Louis, C.V. Mosby Company, 1956
Key	1956	Key J.A., Conwell H.E., Fractures, Dislocations and Sprains, ed. 6, St. Louis, C.V. Mosby Company, 1951
Kitsis	2003	Kitsis C.K., Marino A.J., Krikler S.J., Birch R., Late complications following clavicular fractures and their operative management. Injury. 2003 Jan;34(1):69-74
Kloen	2002	Kloen P., Sorkin A.T., Rubel I.F., Helfet D.L., Anteriorinferior plating of midshaft clavicular nonunions. J Orthop Trauma. 2002 Jul;16(6):425-430
Kloen	2004	Kloen P., Bilateral clavicle non-unions treated with anteriorinferior locking compression plating (LCP): a case report; Acta Orthop Belg Dec;70(6):609-611
Klonz	2002	Klonz A., Hockertz T., Reilmann H., Clavicular fractures, Chirurg. 2002 Jan;73(1):90-100; Review
Knöfler	1962	Knöfler H., Ein Beitrag zur optimalen operativen Behandlung der Claviculafraktur, Chirurg 7, 308, 1962
Knudsen	1989	Knudsen F., Andersen M., Krag C., The arterial supply of the clavicle. Surg Radiol Anatomy 1989; 11:211-214
Koch	1971	Koch F., Papadimitriou G., Groher W., Die Claviculapseudarthrose, ihre Entstehung und Behandlung. Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed. 1971;74(7):330-337
Köck	1996	Köck F., Die operative Therapie von Frakturen und Pseudarthrosen der Clavicula: eine klinische Studie, Diss. Univ. Ulm, 1996
Köhler	1932	Köhler, Limiti del normale ed inizi del patologico in röntgendiagnostica, 1932 (aus Gardella 1946)
Kölliker	1989	Kölliker F., Ganz R., Behandlungsergebnisse der Clavicula-Pseudarthrose, Unfallchirurg. 1989 Apr;92(4):164-168
König	na	König, Lehrbuch der Spec. Chirurgie, Bd II, 570 (in Lossen 1889)
Kohaus	1980	Kohaus H., Sasse W., Pircher W., Stedtfeld H.-W., Claviculafraktur - Indikation zur konservativen und operativen Behandlung, Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 31: 114-120 (1980)
Kona	1990	Kona J., Boss M.J., Staheli J.W., Rosseaus R.L., Type II distal clavicle fractures: A retrospectiv review of surgical treatment, J Orthop Trauma 1990;4:115-120
Kortmann	2004	Kortmann H.-R., Böhmer G., Pseudarthrosen an oberer und unterer Extremität, Springer-Verlag Berlin, 2004
Koss	1989	Koss S.D., Goitz H.T., Redler M.R., Whitehill R., Nonunion of a midshaft clavicle fractur associated with subclavian vein compression. A case report. Orthop Rev 1989 (18/Band 1):431-434
Koutsobelis	1980	Koutsobelis S.C., Vascular Injuries After Mal-United Fracture of the Clavicle. Hellenic Armed Forces Med. Rev., 14: 759-761, 1980
Kremens	1956	Kremens V., Glauser F., Unusual Sequelae following Pinning of Medical Clavicle Fractur, Am. J. Roentgenol., 76: 1066-1069, 1956

Krüger-Franke	2000	Krüger-Franke M., Höhne G., Rosenmeyer B., Ergebnisse operativ behandelte laterale Klavikulafrakturen. Unfallchirurg 103:538-544, 2000
Künlen	1962	Künlen H., Zur Darstellung des Schlüsselbeins im Röntgenbild, Ärztl Forschung 16,581-586, 1962
Küntschner	1952	Küntschner G., Die Behandlung der Klavikularpseudarthrose, Zentralbl Chir. 1952;77(32):1364-1367
Küntschner	1964	Küntschner G., Le traitement des fractures de la clavicule, Acta Orthop. Belgica, 30: 247-251, 1964
Kuner	1979	Kuner E.H., Lindenmaier H.L., Indikation und Technik der Claviculaosteosynthese. 2. Hauptthema: Die Claviculafraktur. Bericht über die Unfallmedizinische Tagung des Landesverbandes Rheinland-Westfalen der gewerblichen BG am 17./18.03.79 in Düsseldorf: 37: 67-72
Kuner	1982	Kuner E.H., Schlickewei W., Mydla F., Operative Therapie der Claviculafrakturen, Indikationen, Technik, Ergebnisse. Hefte Unfallheilk. 160 (1982), 76-83
Kuzminskij	1953	Kuzminskij S.I., Schlüsselbeinbrüche. Heilung und Spätergebnisse, Mschr. Unfallheilk. 56, 60 (1953)
Lambotte	1913	Lambotte A., Fractures et Luxations de la Clavicule, in Chirurgie Opératoire des fractures, A. Lambotte, Editor. Masson: Paris. 388-400, 1913
Laursen	1999	Laursen M.B., Dossing K.V., Clavicular nonunions treated with compression plate fixation and cancellous bone grafting: the functional outcome. J Shoulder Elbow Surg. 1999 Sep-Oct;8(5):410-3
Le Foll	1970	Le Foll G., Contribution à l'étude des pseudarthroses de la clavicule. Analyse de 43 cas. Thèse Médecine. Paris, Cochin, 1970
Leitl	1987	Leitl J., Frakturen und Pseudarthrosen der Clavicula - Ergebnisse der operativen Therapie. Diss Univ München, 1987
Leppilahti	1990	Leppilahti J., Jalovaara P., Migration of Kirschner wires following fixation of the clavicle - a report of 2 cases, Acta Orthop Scand 1999;70:517-26
Leupin	1998	Leupin S., Jupiter J.B., LC-DC plating with bone graft in posttraumatic nonunions in the middle third of the clavicle, Swiss Surg. 1998;4(2):89-94
Lexer	1922	Lexer E., Über die Entstehung von Pseudarthrosen nach Frakturen und nach Knochentransplantationen, Langenbecks Arch. Klein. Chir. 119, 520 (1922)
Lies	1987	Lies A., Josten C., Neumann K., Ekkernkamp A.; Schultergelenksnahe Pseudarthrosen – eine Bagatelle? Unfallheilkd Heft 189 (1987) 496-503
Lilienberg	1967	Lilienberg H., Ein Beitrag zum Problem der Claviculapseudarthrosen, Beitr Orthop Traumatol. 1967 Aug;14(8):425-430
Lim	1987	Lim E., Day L.J., Subclavian vein thrombosis following fractures of the clavicle: a case report. Orthopedics. 1987;10:349-351
Lindenmaier	1991	Lindenmaier H.L., Kuner E.H., Becker B., Die Osteosynthese der Clavicula - Indikation, Operationstechnik, Ergebnisse; Chirurg 1991, 62(5):409-413
Lindenthal	1980	Lindenthal B., Die Behandlung der Clavicula-Pseudarthrose mit der Rekonstruktionsplatte, Diss. Univ. Düsseldorf, 1980
Lipton	1988	Lipton H.A., Jupiter J.B., Nonunion of clavicular fractures: characteristics and surgical management, Surg Rounds Orthop 1988; July:17-21
Liu	1993	Liu H.P., Chang C.H., Lin P.J., Chu J.J., Hsieh H.C., Chang J.P., Hsieh M.C., Pulmonary artery perforation after Kirschner wire migration: case report an review of the literature, J Trauma 1993;34:154-6
Ljunggren	1979	Ljunggren A.E., Clavicular function, Acta Orthop Scand 1979, 50, 261-268
Lob	1966	Lob A., Probst J., Schultergürtel und obere Gliedmaßen. In: Klinische Chirurgie für die Praxis, Hrsg. V. O. Diebold, H. Junghanns, L. Zuckschwerdt, Bd. 4. Stuttgart: G. Thieme 1966
Löffler	1979	Löffler W., Die Claviculafraktur. Begleitverletzungen, Komplikationen und ihre Therapie. Bericht Unfallmed. Tagung 17./18.März 1979, Düsseldorf, 73-84
Lord	1971	Lord J.W., Thoracic outlet syndromes: Current management. Ann. Surg., 173:700-705, 1971
Lossen	1889	Lossen H., Über Pseudarthrosen der Clavicula: Ein Beitrag zur Lehre von den Pseudarthrosen, Diss. Univ. Würzburg, 1889
Ludwig	1866	Ludwig E., Langenbecks Archiv f. klinische Chirurgie, Bd 7, 1866, 167 u Taf V Fig 1
Lusena	1926	Lusena, Trattato di traumatologica clinica, Ed. UTET, 1926 (aus Gardella 1946)
Luskin	1967	Luskin R., Weiss C.A., Winter J., The role of the subclavius muscle in the subclavian vein syndrome (costoclavicular syndrome) following fracture of the clavicle. Clin. Orthop. 54:75, 1967
Lyons	1990	Lyons F.A., Rockwood C.A., Current concepts review: migration of pins used in operations on the shoulder, J Bone Joint Surg Am 1990;72:1262-1267
Malgaigne	na	Malgaigne J.F., Fractures etc., Atlas Pl. III Fig. 6, Text S.7 (in Lossen 1889)
Malgaigne	1848	Malgaigne J.F., Traité des fractures et des luxations, Paris 1848

Malgaigne	1850	Malgaigne J.F., Knochenbrüche und Verrenkungen, Bd. 1. Stuttgart: Riegersche Verlagsbuchhandlung, 1850
Malle	1841	Malle, Encyclopédie des Sciences médic. III Médecin. Opérateur, Paris 1841, 8, 202
Mann	1969	Mann K., Ein Beitrag zur gelenkten aktiven Bewegungsbehandlung der Schlüsselbeinbrüche. Beitr. Orthop. 16: 126 (1969)
Manske	1985	Manske D.J., Szabo R.M., The operative treatment of mid-shaft clavicular non-unions. J Bone Joint Surg Am. 1985 Dec;67(9):1367-1371
Marsh	1970	Marsh H.O., Hazarian E., Pseudarthrosis of the Clavicle, J. Bone and Joint Surg., 52-B(4): 793,1970
Martell	1992	Martell J.R. Jr., Clavicular nonunion. Complication with the use of mersilene tape, Am J Sports Med. 1992 May-Jun;20(3):360-362
Marti	1984	Marti R., Besselaar P.P., Die Anwendung der AO-Platte als Fixateur externe. Z Orthop 1984; 122 (2): 225-232
Marti	1991	Marti R.K., van der Werken C., The AO-Plate for external fixation in 12 cases, Acta Orthop Scand 1991, 62: 60-62
Marti	2003	Marti R.K., Nolte P.A., Kerkhoffs G.M., Besselaar P.P., Schaap G.R., Operative treatment of mid-shaft clavicular non-union, Int Orthop. 2003;27(3):131-5
Massart	1952	Massart R., Les pseudarthroses de la clavicule, Bull Mem Soc Chir Paris,XLII,10-12,260-263,1952
Matis	1999	Matis N., Kwasny O., Gäbler C., Vecsei V., Auswirkung der Schlüsselbeinverkürzung auf das Behandlungsergebnis nach Schlüsselbeinfraktur, Hefte zu der Unfallchirurg 275:314-315 (1999)
Matti	1922	Matti H., Die Knochenbrüche und ihre Behandlung, Bd 2, S. 402, Berlin; Julius Springer 1922
Maurin	1975	Maurin X., Contribution à l'étude des fractures de la clavicule par fixateur externe. Chirurgie 101:367-375, 1975
Mayer	1965	Mayer J.H., Non-union of fractured clavicle, Proc R Soc Med 1965 Mar;58:182
Mazet	1943	Mazet R., Migration of a Kirschner wire from the shoulder region into the lung: Report of two cases. J Bone Joint Surg 25:477-483,1943
Mazzuca	1969	Mazzuca C.R., La pseudartrosi posttraumatica di clavicola, Arch Putti Chir Organi Mov 1969;24:271-281
Medicine-Worldwide	2004	Medicine-Worldwide: Schlüsselbeinbrüche, www.m-w.de/krankheiten/orthop_erkrankungen/Schluessselbeinbrueche.html , 25.02.2004
Meeder	1988	Meeder P.J., Pfister U., Korrekturingriffe nach knöchernen Verletzungen des Schultergürtels, Unfallchirurg 91: 408-415 (1988)
Merle d'Aubigné	1958	Merle d'Aubigné R., Tubiana R., Pseudarthroses de la clavicule. In: Séquelles des traumatismes de la ceinture scapulaire, Masson, Paris, 1958, pp. 139-145
Meves	1973	Meves H., Stabile und funktionsgerechte Osteosynthese von Klavikulaschaftfrakturen und -pseudoarthrosen mit einer neuen Kompressionsplatte, Acta Chir Austriaca (1973) 78-81
Mezzari	1952	Mezzari A., Corsi G., Clinica e terapia delle fratture di clavicola, Min Ortop, 3, 82 - 86, 1952
Middleton	1995	Middleton S.B., Foley S.J., Foy M.A., Partial excision of the clavicle for nonunion in National Hunt Jockeys, J Bone Joint Surg Br. 1995 Sep;77(5):778-80
Miehe	1974	Miehe H., Contribution à l'étude des pseudarthroses de la clavicule. A propos de 19 observations personnelles. Thèse Médecine. Strasbourg, 1974
Mikkelsen	1986	Mikkelsen S.S., Rasmussen B.S., (Treatment of post-traumatic pseudoarthrosis of the clavicle), Ugeskr Laeger 1986 Oct;148(41):2628-2630 (dänisch)
Miller	1969	Miller D.S., Boswick J.A.Jr., Lesions of the Brachial Plexus Associated with Fractures of the Clavicle. Clin. Orthop., 64: 144-149, 1969
Mital	1968	Mital M.A., Aufranc O.E., Venous occlusion following greenstick fracture of clavicle. JAMA 206, 1301 (1968)
Mohr	1970	Mohr K.U., Rueff F.L., Bedacht R., Indikation und Methode der operativen Wiederherstellung der Klavikula. Med Welt 13: 577-580 (1970)
Momberger	2000	Momberger N.G., Smith J., Coleman D.A., Vascularized fibular grafts for salvage reconstruction of clavicle nonunion, J Shoulder Elbow Surg. 2000 Sep-Oct;9(5):389-94
Moore	1951	Moore T.O., Internal pin fixation for fracture of the clavicle, Ann Surg 1951;17:580-3
Moseley	1968	Moseley H.F., The clavicle: Its anatomy and function, Clin Orthop 1968, 58, 17 -27
Mouchet	1929	Mouchet, Pseudarthrose de la clavicule. Comunicazione alla Soc. de Chirurgie 10-4-1929; Rec. In >>La Presse Méd<>>, 37,520,1929
Müller	1963	Müller M.E., Allgöwer M., Willenegger H., Technik der operativen Frakturbehandlung. Berlin-Göttingen-Heidelberg, Springer 1963

Müller	1965	Müller M.E., Zur Frage der primären Frakturheilung nach Osteosynthese, Dtsch med Wschr 90, 2366-2367 (1965)
Müller	1966	Müller M.E., Die Behandlung der nichtinfizierten Pseudarthrosen an der oberen Extremität mit der Kompressionsplatte, act chir 1, 99- (1966)
Müller	1970	Müller M.E., Allgöwer M., Willenegger H., Manual of internal fixation: technique recommended by the AO group. New York: Springer-Verlag, 1970, S. 112
Müller	1982	Müller K.H., Müller-Färber J., Posttraumatische Osteomyelitis und infizierte Pseudarthrose in der Region des Schultergürtels - Therapie und Ergebnisse, Hefte Unfallheilk. 157: 154-165 (1982)
Müller	1991	Müller M.E., Allgöwer M., Schneider R., Willenegger H., Manual of internal fixation: technique recommended by the AO group. New York: Springer-Verlag, 738-739 (1991)
Müller	1992	Müller M.E., Allgöwer M., Schneider R., Willenegger H., Manual der Osteosynthese: AO-Technik, 3. Aufl., S. 432-437, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 1992
Muizhulis	1985	Muizhulis A.K., Klezis V.I., (Method of treating pseudarthroses of the clavicle with bone defects), Ortop Travmatol Protez 1985 Nov;(11):47-48 (russisch)
Mullaji	1994	Mullaji A.B., Jupiter J.B., Low-contact dynamic compression plating of the clavicle, Injury 1994 Jan;25(1):41-45
Mullett	2001	Mullett H., Laing A., Curtin W., Successful operative treatment of bilateral clavicle non-union., Injury 2001 Jan;32(1):69-70
Naidu	1994	Naidu S.H., Heppenstall R.B., Brighton C.T., Wright D.W., Esterhai J.L., Clavicle nonunion: Results of treatment with electricity, AO dynamic compression plating and autogenous bone grafting and excision of the nonunion in 43 patients. Orthop Trans 1994; 18 (4):1072
Neer	1960	Neer C.S. 2 nd , Nonunion of the clavicle, JAMA 1960 März 5;172:1006-1011
Neer	1963	Neer C.S., Fractures of the distal third of the clavicle with detachment of the coracoclavicular ligaments in adults, J. Trauma 3 (1963) 99-110
Neer	1968	Neer C.S., Fractures of the distal third of the clavicle. Clin Orthop 1968;58:43-50
Neer	1984	Neer C.S. 2 nd , Part I: Fractures about the shoulder. In: Fractures in adults. Vol. I. Rockwood C.A. Jr., Green D.P., ed. 2 nd ed. Philadelphia: J.B. Lippincott, 1984:702-727
Nevasier	1963	Nevasier J.S., The treatment of fracture of the clavicle, Surg Clin North Am. 1963, 43, 1555-1563
Nevasier	1975	Nevasier R.J., Nevasier J.S., Nevasier T.J., Nevasier J.S., A simple technique for internal fixation of the clavicle. A long term evaluation; Clin Orthop 1975;(109):103-107
Nevasier	1987	Nevasier R.J., Injuries of the clavicle and acromioclavicular joint, Orthop Clin North Am. 1987, 18: 433-438
Ngarmukos	1998	Ngarmukos C., Parkpian V., Patradul A., Fixation of fractures of the midshaft of the clavicle with Kirschner wires. Results in 108 patients. J Bone Joint Surg Br. 1998 Jan;80(1):106-8
Nicoll	1954	Nicoll E.A., Annotation. Miners and Mannequins. J Bone and Joint Surg., 36-B(2):171-172, 1954
Nicoll	1964	Nicoll E.A., Fractures of the tibial shaft, J Bone Joint Surg Br 46:373-387, 1964
Niemeier	1990	Niemeier U., Zimmermann H.G., [Küntscher' s open intramedullary nailing of the clavicle. An alternative in the treatment of an old clavicular fracture], Chirurg. 1990 Jun;61(6):464-466
Nikiforidis	1996	Nikiforidis P., Babis G.C., Vayanos E.D., [Treatment of pseudarthrosis of the clavicle by bone plate with screw fixation and autologous spongiosa graft], Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1996;82(2):125-9. French
Nilsson	1986	Nilsson O.S., Bauer H.C.F., Brosjö O., Törnkvist H., Influence of indomethacin on experimental bone formation in rats. Importance of length of treatment and of age. Clin Orthop 207:239-245, 1986
Nolte	2001	Nolte P.A., van der Krans A., Patka P., Janssen I.M., Ryaby J.P., Albers G.H., Low-Intensity pulsed ultrasound in the treatment of nonunions, J Trauma 2001 Okt;51(4):693-703
Nordqvist	1993	Nordqvist A., Peterson C., Redlung Johnell I., The natural course of lateral clavicle fracture, 15 (11-21) year follow-up of 110 cases. Acta Orthop Scand 1993;64:87-91
Nordqvist	1994	Nordqvist A., Peterson C., The incidence of fractures of the clavicle, Clin Orthop 1994;300:127-132
Nordqvist	1995	Nordqvist A., Peterson C.J., Incidence and causes of shoulder girdle injuries in an urban population, J Shoulder Elbow Surg 1995;4:107-112
Nordqvist	1998	Nordqvist A., Peterson C., Redlung Johnell I., Mid-clavicle fractures in adults: end result study after conservative treatment, J Orthop Trauma . 1998 Nov-Dec; 12(8):572-6

Norell	1965	Norell H., Liewellyn R.C., Migration of threaded Steinmann pin from an acromioclavicular joint into the spinal canal: a case report. <i>J Bone Joint Surg (Am)</i> 1965;47: 1024-6
Nowak	2000	Nowak J., Mallmin H., Larsson S., The aetiology and epidemiology of clavicular fractures. A prospective study during a two-year period in Uppsala, Sweden. <i>Injury</i> . 2000;31:353-358
Nowak	2001	Nowak J., Rahme H., Holgersson M., Lindsjo U., Larsson S., A prospective comparison between external fixation and plates for treatment of midshaft nonunions of the clavicle. <i>Ann Chir Gynaecol</i> . 2001;90(4):280-285
Nowak	2002	Nowak J., Clavicular Fractures, Epidemiology, Union, Malunion, Nonunion; Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Medicine 1176, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala 2002
Nowak	2004	Nowak J., Holgersson M., Larsson S., Can we predict long-term sequelae after fractures of the clavicle based on initial findings? A prospective study with nine to ten years of follow-up. <i>J Shoulder Elbow Surg</i> . 2004 Sep-Oct; 13(5): 479-486
Nurra	1962	Nurra A., Trattamento ed esiti delle pseudoartrosi traumatiche della clavicola. <i>Minerva Ortop.</i> , 1962, 3, 148-151
Nutter	1922	Nutter R., On delayed and non-union fractures. <i>J Bone Joint Surg</i> 4A, 104-128 (1922)
O'Connor	2004	O'Connor D., Kutty S., McCabe J.P., Long-term functional outcome assessment of plate fixation and autogenous bone grafting for clavicular non-union, <i>Injury</i> 2004 Jun; 35 (6):575-579
Ogden	1979	Ogden J.A., Conlogue G.J., Bronson M.L., Radiology of postnatal skeletal development: III. The Clavicle. <i>Skeletal Radiol</i> . 4:196, 1979
Ogden	1984	Ogden J.A., Distal clavicular physeal injury, <i>Clin. Orthop</i> . 188:68, 1984
Olsen	1995	Olsen B.S., Vaesel M.T., Sojbjerg J.O., Treatment of midshaft clavicular nonunion with plate fixation and autologous bone grafting, <i>J Shoulder Elbow Surg</i> . 1995 Sep-Oct;4(5):337-44
Op den Winkel	1980	Op den Winkel R., Blömer J., Claviculafrakturen. 24. Unfallseminar, Medizinische Hochschule Hannover, 28. Juni 1980, 75-82
Orljanski	1998	Orljanski W., Millesi H., Schabus R., Late lesion of the brachial plexus after clavicular fracture, <i>Unfallchirurg</i> . 1998 Jan;101 (1):66-68
O'Rourke	1975	O'Rourke I.C., Middleton R.W., The place and efficacy of operative management of fractured clavicle, <i>Injury</i> 6, 236-240 (1975)
Orozco	2000	Orozco R., The Clavicle, In: Atlas of internal fixation: fractures of long bones, p. 333-335, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2000
Paffen	1978	Paffen P.J., Jansen E.W.L., Surgical treatment of clavicular fractures with Kirschner wires: A comparative study. <i>Archivum Chirurgicum Neerlandicum</i> 30: 43-53, 1978
Pannike	1982	Pannike A., Claviculafrakturen - Entstehung, Einteilung, Diagnose. <i>Hefte Unfallheilkunde</i> , 160, 43-54 (1982)
Parrini	1957	Parrini L., Sulle pseudartrosi della clavicola, <i>Arch di Ortop</i> , 70(4), 318-335, 1957
Parry	2000	Parry D.J., Waterworth A., Scott D.J., Posttraumatic clavicular pseudo-arthritis – an unusual case of venous thoracic outlet syndrome, <i>Eur J Vasc Endovasc Surg</i> . 2000 Oct; 20(4):403-404
Patel	1972	Patel C.V., Adenwalla H.S., Treatment of fractured clavicle by immediate partial subperiosteal resection, <i>J Postgrad Med</i> 1972;18:32-4
Pauwels	1935	Pauwels F., Der Schenkelhalsbruch. Ein mechanisches Problem. <i>Beilh. Z. Orthop. Chir.</i> 63, 1935
Pauwels	1940	Pauwels F., Grundriss der Biomechanik der Frakturheilung. <i>Verh. Dtsch. Orthop. Ges.</i> 34. Kongr. 1940
Pedersen	1994	Pedersen M., Poulsen K.A., Thomsen F., Kristiansen B., Operative treatment of clavicular nonunion. <i>Acta Orthop Belg</i> . 1994;60(3):303-306
Penn	1964	Penn I., The vascular complications of fractures of the clavicle, <i>J. Trauma</i> , 4: 819-829, 1964
Penn	1969	Penn M.B., The vascular complications of fractures of clavicle, <i>J. Trauma</i> 4:819 (1969)
Peris	2003	Peris P., Stress fractures; <i>Best Pract Res Clin Rheumatol</i> 2003 Dec;17(6):1043-1061
Perren	1991	Perren S.M. (ed) (1991) The concept of biological plating using the limited contact dynamic compression plate (LC-DCP). Scientific background, design and application. <i>Injury</i> 22, Supplement 1:1
Pessagno	1954	Pessagno A., Sulla pseudoartrosi della clavicola, <i>Radiol Med</i> , 40, 885-890, 1954
Peters	1997	Peters G., Bosch U., Tscherne H., Die Verlängerungsosteotomie bei fehlverheilten Klavikulafrakturen. <i>Unfallchirurg</i> 100:270-273
Petit	1815	Petit M.A., Collection d'Observations cliniques, Ouvrage posthume etc, Lyon 1815, 8, 297

Petracic	1983	Petracic B., Zur Frage der Effizienz eines Rucksackverbandes bei der Behandlung von Klavikulafrakturen, Unfallchirurgie 9: 41-43 (1983)
Petrovic	2004	Petrovic I., Davila S., Premuzic I., Zdunic N., Trotic R., Prutki M., Long-term outcomes of clavicular pseudarthrosis therapy, J Surg Res 2004 Oct;121(2):222-227
Pfister	1981	Pfister U., Verletzungen und Verletzungsfolgen des Schultergelenks und ihre Behandlung, Therapiewoche 31: 6306-6309 (1981)
Phemister	1947	Phemister D.B., Treatment of ununited fractures by onlay bone-grafts without screw or tie fixation and without breaking down of the fibrous union. J. Bone Joint Surg. 29:946,1947
Pieske	2005	Pieske O., persönliche Mitteilung, Unfallchirurgie des Klinikum-Großhadern, 2005
Pipkin	1951	Pipkin G., Tardy Shoulder Hand Syndrome Following Ununited Fracture of the Clavicle. J. Missouri State Med. Assn., 48: 643-646, 1951
Plantec	1960	Plantec Y., Contribution à l'étude de l'étiologie et du traitement des pseudarthroses traumatiques de la clavicule. Thèse Médecine. Bordeaux, 1960
Poigenfürst	1973	Poigenfürst J., Gefäß- und Nervenstörungen nach Claviculafrakturen. Hefte Unfallheilkd 114:180-185
Poigenfürst	1988	Poigenfürst J., Reiler T., Fischer W., Die Verplattung der frischen Schlüsselbeinfraktur. Erfahrungen an 60 Operationen, Unfallchirurgie 1988 Geb;14(1):26-37
Poigenfürst	1991	Poigenfürst J., Baumgarten-Hofmann U., Holmann J., Unstabile Bruchformen am oberen Schlüsselbeinende und Grundsätze der Behandlung, Unfallchirurgie 1991, 17, 131-139
Poigenfürst	1992	Poigenfürst J., Rappold G., Fischer W., Plating of fresh clavicular fractures: results of 122 operations. Injury. 1992;23(4):237-41
Poltera	1959	Poltera R., Die Erfahrungen bei operativ behandelten Schlüsselbeinbrüchen, Diss. Zürich (1959) <Diss helv 1959-873>
Porta	1942	Porta C., Raro esito di una frattura della clavicola, Radiol Med 29, 295, 1942
Portych	1969	Portych L., Braslawska J., (Treatment of pseudoarthrosis of clavicle by means of bone pegs), Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol 1969;34(1):25-27 (polnisch)
Post	1989	Post M., Current concepts in the treatment of fractures of the clavicle, Clin Orthop. 1989;245:89-101
Powell	1952	Powell H. D. W., Ununited Fractures of the Clavicle, Brit Med J. 1952, 2:651-652
Probst	1970	Probst J., Reosteosynthese des Schlüsselbeins, Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed. 1970 Oct;73(10):464-473
Probst	1973	Probst J., Poigenfürst J., Gefäß- und Nervenstörungen nach Claviculafrakturen. Hefte Unfallheilkd 114:185-186
Proubasta	1999	Proubasta I.R., Itarte J.P., De Frutos A.G., Caceres E.P., Treatment of posttraumatic midshaft clavicular pseudarthrosis with the Herbert cannulated bone screw and autologous bone grafting. A case report, Bull Hosp Jt Dis. 1999;58(4):217-219
Proubasta	2004	Proubasta I.R., Itarte J.P., Lamas C.G., Caceres E., Midshaft clavicular non-unions treated with the Herbert cannulated bone screw, J Orthop Surg (Hong Kong), 2004 Jun; 12(1): 71-75
Pyper	1978	Pyper J.B., Non-union of fractures of the clavicle, Injury. 1978 May;9(4):268-270
Quigley	1950	Quigley T.B., The management of simple fracture of the clavicle in adults, N Engl J Med 1950;243:286-290
Rabenseifner	1981	Rabenseifner L., Zur Ätiologie und Therapie bei Schlüsselbeinpseudarthrosen, Aktuelle Traumatol. 1981 Aug;11(4):130-2
Radulescu	1962	Radulescu A., Iazikov D.K., Pseudarthrozele (pp. 190-198: Pseudarthrozele claviculei). Edit. Acad. RPR. Bucuresti 1962
Ramotowski	1987	Ramotowski W., Granowski R., ZESPOL-Osteosynthese im Oberarmbereich. Beitr Orthop Traumatol 1987; 34 (11): 565-570
Rattenhuber	1973	Rattenhuber R., Tertiäre Reosteosynthese nichtinfizierter Pseudoarthrosen und Fehlstellungen an Schlüsselbein, Oberarm und Unterarm. Diss. Univ. München 1973
Rau	1973	Rau H., Osten A., Ergebnisse der konservativen und operativen Behandlung von Claviculafrakturen, Hefte Unfallheilk 114, 268-273 (1973)
Refior	1970	Refior H.J., Gasteiger W., Die Claviculafaktur und ihre Behandlung, Monatsschr Unfallheilkd Versicher Versorg Verkehrsmed. 1970 Jun;73(6):257-270
Reichenbacher	1987	Reichenbacher D., Siebler G., Frühsekundäre Armplexusläsionen - eine seltene Komplikation nach Klavikulafaktur. Unfallchirurgie 13: 91-92 (1987)
Reymond	2004	Reymond M. A. (Hrsg.) et al, Facharztprüfung Chirurgie in Fällen, Fragen und Antworten, 2004, Urban & Fischer, München und Jena

Riemer	1991	Riemer B.L., Butterfield S.L., Daffner R.H., O' Keeffe R.M. Jr., The abduction lordotic view of the clavicle: a new technique for radiographic visualization. J Orthop Trauma. 1991;5(4):392-4
Ring	1997	Ring D., Barrick W.T., Jupiter J.B., Recalcitrant nonunion, Clin Orthop 1997 Jul;(340):181-9
Ring	1998	Ring D., Jupiter J.B., Miller M.E., Ada J.R., Fractures of the clavicle. In: Browner B.D., Jupiter J.B., Levine A.M., Trafton P.G., editors. Browner's skeletal Trauma. 2 nd ed. Philadelphia: Saunders, 1998. 1670-94
Ritchey	1976	Ritchey J.A., Pseudoarthrosis of the clavicle - Knowles pin used as a compression device, ONA J. 1976 Aug;3(8):250-1
Robinson	1998	Robinson C.M., Fractures of the clavicle in the adult. Epidemiology and classification. J Bone Joint Surg Br 1998; 80-B:476-484
Robinson	2004-1	Robinson C.M., Court-Brown C.M., McQueen M.M., Wakefield A.E., Estimating the risk of nonunion following nonoperative treatment of a clavicular fracture. J Bone Joint Surg Am. 2004 Jul;86-A(7):1359-65
Robinson	2004-2	Robinson C.M., Cairns D.A., Primary nonoperative treatment of displaced lateral fractures of the clavicle. J Bone Joint Surg, 86-A(4). 778-782 (2004)
Rockwood	1996	Rockwood C.A. Jr., Green D.P., Buchholz R.W., Heckman J.D., Fractures in Adults, 3 rd ed. Philadelphia: J.B. Lippincott Co, 1996:954-966,968
Rockwood	1997	Rockwood C.A. Jr., Green D.P., Buchholz R.W., Heckman J.D., Fractures in Adults. WB Saunders. Philadelphia, vol. I., 1997, 1198-1161
Röding	1962	Röding H., Zur Behandlung der Klavikulapseudarthrosen, Zbl. Chir. 87 (1962) 1110-1114
Rokito	2002	Rokito A.S., Zuckerman J.D., Shaari J.M., Eisenberg D.P., Cuomo F., Gallagher M.A., A comparison of nonoperative and operative treatment of typ II distal clavicle fractures, Bull Hosp Jt Dis. 2002-2003, 61(1-1):32-39
Rosati	1961	Rosati L.M., Lord J.W., Neurovascular Compression Syndromes of the Shoulder Girdle. New York, Grune and Stratton, 1961
Rowe	1958	Rowe C.R., Fractures of the clavicle. In: Cave E.F.: Fractures and Other Injuries, pp. 259-263, Chicago, Yearbook Publishers, 1958
Rowe	1968	Rowe C.R., An atlas of anatomy and treatment of mid-clavicular fractures, Clin. Orthop 58 (1968) 29-42
Rüedi	2003	Rüedi T.P., Murphy W.M., Klavikulafrakturen und Luxationen benachbarter Gelenke, In: AO Prinzipien des Frakturmanagements, S. 265-272, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 2003
Rüter	1982	Rüter A., Burri C., Claviculafrakturen - Diskussionsbemerkungen und Empfehlungen aller Teilnehmer. Hefte Unfallheilkunde 160, 84 -86 (1982)
Rush	1957	Rush L., Atlas der intramedullären Frakturfixation nach Rush, München 1957
Russe	1973	Russe O., Nonnemann H.C., Proceedings: Operative treatment of clavicular pseudoarthrosis, Hefte Unfallheilkunde 1973;114:190-191
Sadiq	2001	Sadiq S., Waseem M., Peravalli B., Doyle J., Dunningham T., Muddu B.N., Single or double plating for nonunion of the clavicle, Acta Orthop Belg. 2001 Oct;67(4):354-360
Sakellarides	1961	Sakellarides H., Pseudoarthrosis of the clavicle, J Bone J Surg. 1961, 43 -A(1), 130-138
Sankarankutty	1975	Sankarankutty M., Turner R.W., Fractures of the clavicle, Injury 7, 101-106 (1975)
Sayre	1886	Sayre L.A., Orthopädische Chirurgie und Gelenkkrankheiten, 2. Aufl., Bergmann, Wiesbaden 1886
Scarfi	1955	Scarfi G., Sulla pseudoartrosi della clavicola, La Clinica Ortop, 7, 24 -30, 1955
Schauwecker	1975	Schauwecker K., Indikationen und operative Technik bei Schlüsselbeinfrakturen und Schlüsselbeinpseudoarthrosen. Schriftenreihe 'Unfallmedizinische Tagungen d. Landesverbände der gewerblichen Berufsgenossenschaften', Heft 24, 115, 1975
Schenk	1982	Schenk R.K., Anatomie des Schultergürtels. Hefte Unfallheilkunde 160:1-15 (1982)
Schewior	1974	Schewior T., Die Druckplattenosteosynthese bei Schlüsselbeinpseudoarthrosen, Akt. Traumat., 4: 113-125, 1974
Schmit-Neuerburg	1982	Schmit-Neuerburg K.P., Weiss H., Konservative Therapie und Behandlungsergebnisse der Claviculafrakturen, Hefte Unfallheilkunde, 1982, 160:55-75
Schmitt	1979	Schmitt D., Fery A., Charpenet R., Fernbach N., Sommelet J., Les pseudoarthroses de la clavicule. Ann. Med. Nancy, 1979, 18, 603-608
Scholze	1973	Scholze H., Klinik und Behandlung der frischen Claviculafrakturen. Hefte Unfallheilkd 114:177-178 (1973)
Schuckelt	1885	Schuckelt O., Ein Fall von Pseudoarthrosis claviculae, Inaug. Diss., Greifswald 1885

Schuind	1988	Schuind F., Pay-Pay E., Andriane Y., Donkerwolcke M., Rasquin C., Burny F., External fixation of the clavicle for fracture or non-union in adults. <i>J Bone Joint Surg Am.</i> 1988 Jun;70(5):692-695
Schulz	1966	Schulz C.H., Beitrag zur Osteosynthese der Claviculafraktur mittels Kirschnerdraht, <i>Chirurg</i> 37,294-297 (1966)
Schuppler	1935-1	Schuppler W., Die Behandlungsarten des Schlüsselbeinbruchs, <i>Arch. Orthop. Unfallchir.</i> 35 (1935) 347-372
Schuppler	1935-2	Schuppler W., Die Behandlungsergebnisse der Schlüsselbeinbrüche, <i>Arch. Orthop. Unfallchir.</i> 35 (1935) 373-380
Schwarz	1984	Schwarz N., Leixnering M., Die Mißerfolge der Klavikulamarkdrahtung und ihre Ursachen, <i>Aktuelle Traumatol.</i> 1984 Aug;14(4):159-163.
Schwarz	1986	Schwarz N., Leixnering M., Technik und Ergebnisse der Klavikula-Markdrahtung, <i>Zentralbl. Chir.</i> , 1986, 11, 640-647
Schwarz	1992	Schwarz N., Höcker K., Osteosynthesis of irreducible fractures of the clavicle with 2,7 mm ASIF-plates, <i>J Trauma</i> 1992 Aug;33(2):179-183
Schwier	1967	Schwier V., Einfache Kompressionsosteosynthese bei Schlüsselbeinbrüchen, <i>Arch orthop Unfall-Chir</i> 62,199-204 (1967)
Seiler	1993	Seiler J.G. 3 rd , Jupiter J.B., Intercalary tricortical iliac crest bone grafts for the treatment of chronic clavicular nonunion with bony defect, <i>J Orthop Techniques</i> 1993;1:19-22
Shackford	2003	Shackford S.R., Connolly J.F., Taming of the screw: a case report and literature review of limb-threatening complications after plate osteosynthesis of a clavicular nonunion, <i>J Trauma.</i> 2003 Nov;55(5):840-3; discussion 843. Review
Shen	1999	Shen W.J., Liu T.J., Shen Y.S., Plate fixation of fresh displaced midshaft clavicle fractures, <i>Injury</i> 1999 Sep;30(7):497-500
Si	2004	Si Q.Q., Chen A.M., Hou C.L., [Comparison of plate and Kirschner wire fixation in treatment of clavicular nonunion, <i>Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.</i> 2004 Jan;18(1):18-20. Chinese
Siebenmann	1987	Siebenmann R.P., Spieler U., Arquint A., Die Rush-Pin-Osteosynthese der Klavikula als Alternative zur konservativen Behandlung, <i>Unfallchirurgie</i> 1987 Dec;13(6):303-7
Siewert	1998	Siewert J. R., <i>Chirurgie</i> , 6. Auflage 1998, S. 823ff, Springer Verlag
Simpson	1996	Simpson N.S., Jupiter J.B., Clavicular Nonunion and Malunion: Evaluation and Surgical Management, <i>J Am Acad Orthop Surg.</i> 1996 Jan;4(1):1-8
Sittek	1960	Sittek G., Über Ergebnisse der Schlüsselbeinbruchbehandlung, <i>Diss. München</i> 1960
Solheim	1973	Solheim K., Vaage S., Delayed union and nonunion of fractures: clinical experience with the ASIF method, <i>J. Trauma</i> 1973 Feb;13(2):121-8
Spar	1977	Spar I., Total claviclectomy for pathological fractures, <i>Clin. Orthop</i> 1977;129:236-7
Spier	1982	Spier W., Nervenverletzungen der Schulter. <i>Hefte Unfallheilkunde</i> 160:274-278 (1982)
Stanley	1988-1	Stanley D., Norris S.H., Recovery following fractures of the clavicle treated conservatively, <i>Injury</i> 1988;19:162-164
Stanley	1988-2	Stanley D., Trowbridge E.A., Norris S.H., The mechanism of clavicular fracture: a clinical and biomechanical analysis, <i>J Bone Joint Surg (Br)</i> 1988;70-B:461-464
Steffelaar	1974	Steffelaar H., Heim U., Sekundäre Plattenosteosynthesen an der Clavicula, <i>Arch Orthop Unfallchir.</i> 1974;79(1):75-82
Steinberg	1961	Steinberg I., Subclavian-Vein Thrombosis Associated with Fractures of the Clavicle. Report of Two Cases. <i>New England J. Med.</i> , 264:686-688, 1961
Steindler	1946	Steindler A., <i>The Traumatic Deformities and Disabilities of the Upper Extremity</i> , pp. 107-112. Springfield, Illinois, Charles C. Thomas, 1946
Stimson	1956	Stimson B.B., <i>Manual of Fractures and Dislocations</i> , ed. 3, Philadelphia, Lea & Febinger, 1956
Storen	1946	Storen H., Old Clavicular Pseudarthrosis with Late Appearing Neuralgias and Vasomotoric Disturbances Cured by Operation. <i>Acta Chir. Scandinavica</i> , 94: 187-192, 1946
Storen	1966	Storen H., Operative correction of clavicular defect. A new surgical method. <i>Acta Chir Scand.</i> 1966 Sep;132(3):243-247
Stoye	1964	Stoye H.D., Die Behandlungsmethoden der Claviculafrakturen, <i>Medizinische Dissertation, Magdeburg</i> (1964)
Straszecki	1979	Straszecki L., Markiewicz W., (Treatment of clavicular pseudarthrosis), <i>Wiad Lek</i> 1979 Mar 15;32(6):427-431 (polnisch)
Suire	1963	Suire P., Laffitte H., Brunet J.P., Au sujet de l'embrochage des fractures claviculaires, <i>Mém Acad Chir</i> 89,896,1963
Tanton	1915	Tanton J., <i>Fracture du membre superieur</i> , Baillière, Paris, 1915
Taylor	1969	Taylor A.R., Non-Union of Fractures of the Clavicle: A Review of Thirty-one Cases, <i>Proceedings, J. Bone and Joint Surg.</i> , 51-B(3). 568-569, 1969

Tegner	1985	Tegner Y., Cruciate ligament injuries in the knee, Linköping University Sweden, 1985, 39-46
Texhammar	1995	Texhammar R., Colton C., AO-Instrumente und -Implantate, S. 440-442, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1995
Thompson	1976	Thompson A.G., Batten R.L., The Application of Rigid Internal Fixation to the Technique of Non-Union and Delayed Union using the AO Technique, Injury, 8. 188-198, 1976
Thompson	1990	Thompson J.S., ORIF Uniquely Suited to Displaced Midthird Clavicle Fracture. Orthop. Today, 10: 14-16, 1990
Thurnheer	1969	Thurnheer W., A contribution on the problem of treating clavicular pseudoarthrosis, Ther Umsch. 1969 Mar;26(3):121-4
Tkachenko	1972	Tkachenko S.S., Gaidukov V.M., (Treatment of pseudarthroses of the clavicle), Ortop Travmatol Protez 1972 Apr;33(4):57-59 (russisch)
Törnkvist	1985	Törnkvist H., Bauer H.C.F., Nilsson O.S., Influence of indomethacin on experimental bone metabolism in rats. Cöln Orthop 193:264-270, 1985
Torklus	1995	Torklus von H., Fachlexikon Orthopädie: Schulter, 1. Auflage 1995, S. 157, Ecomed Verlag
Tregonning	1976	Tregonning G., Macnab I., Post-Traumatic Pseudoarthrosis of the Clavicle, J. Bone and Joint Surg., 58-B(2):264,1976
Trillat	1970	Trillat A., Mounier-Kuhn A., Galon G., Les pseudarthroses d'origine traumatique de la clavicle (abstract). Rev. Chir. Orthop., 56: 276, 1970
Trillat	1971	Trillat A., Mounier-Kuhn A., Les pseudarthroses post-traumatiques de la clavicle, Lyon chir., 67:321-326, 1971
Tschick	1914	Tschick, Greffe d'un fragment de cote pour remplacer une clavicle. Vratschelnii Gazeta, 4 Aug. 1913; Zbl. Chir., Febr. 1914
Turchin	1998	Turchin D.C., Beaton D.E., Richards R.R., Validity of observer-based aggregate scoring systems as descriptors of elbow pain, function, and disability: J Bone Joint Surg Am 1983;65:773-8
Unister	2004	www.unister.de/Unister/wissen : 'Schlüsselbeinfraktur'
Van Acker	1974	Van Acker R.E.H., Kleman J.N., Greep J.M., Complicaties bij claviculafracturen. Nederland Tijdschr. Geneesk., 118: 613-617, 1974
Van der Elst	1971	Van der Elst E., Les débuts de l'ostéosynthèse en Belgique, pp 1-151, Brussels, Imprimerie des Sciences, 1971
Van der Werken	1991	Van der Werken C., Hoofwijk A.G., Fractures and pseudoarthrosis of the clavicle, Ned Tijdschr Geneesk. 1991 May 4;135(18):788-791
Vastamäki	1989	Vastamäki M., Kaupilla: Serratus Paralysis. 4 th ICSS, New York. Abstarct Book, 81, 1989
Velpeau	1825	Velpeau, Traité d' Anatomie chirurg.Taf. I, Paris 1825, 309
Velpeau	1831	Velpeau, la lancette francaise 1831. 29.Dec
Verborgt	2005	Verborgt O., Pittoors K., Van Glabbeek F., Declercq G., Nuyts R., Somville J.; Plate fixation of middle-third fractures of the clavicle in the semi-professional athlete; Acta Orthop Belg 2005 Feb;71(1):17-21
Verbrugge	1934	Verbrugge J., Contribution à l'étude du traitement chirurgical de fractures récentes et anciennes de la clavicle, J Chir et An Soc Belg Chir, 10,537 -543,1934
Verga	1919	Verga C., Contributo allo studio delle pseudoartrosi, Arch ortop, 35, 195, 1919
Vidal	1980	Vidal J., Brahni B., Le fixateur externe à la clavicle. In: Septièmes Journées Internationales sur la Fixation Externe d'Hoffmann, Montpellier pp 221 -223, Genève, Diffinco, 1980
Vidal	1983	Vidal J., Nakach G., Schiphorst P., Orst G, J.P.: External fixation of the clavicle. Clinical Orthopaedics and Related Research 180:93-94, 1983
Vogel	1815	Vogel, Dissert. Médico. Chirurg sur le Séton. Strassbourg 1815, 11
von Pitha	1868	von Pitha, Handbuch d. allg. u. spec. Chirurgie, Erlangen 1868, 8-9
Wachsmuth	1956-1	Wachsmuth W., Die Operationen an den Extremitäten, Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1956
Wachsmuth	1956-2	Wachsmuth W., In Allgemeine und Spezielle Operationslehre, Berlin: Springer-Verlag 1956:375
Wahl	1968	Wahl D.H., Über die operative Behandlung der Klavikulafraktur, Mschr Unfallheilk 71,438-445, 1968
Wahl	1969	Wahl D.H., Die sogenannte Rush-Pinnung der frakturierten Klavikula, Zentralbl Chir 32, 1054 (1969)
Walcher	1973	Walcher K., Die Therapie der Claviculapseudoarthrosen, Hefte Unfallheilkd. 1973;114:187-190
Walcher	1973	Walcher K., Indikationen und Technik der Osteosynthese bei der Claviculapseudoarthrose. Arch. Orthop. Unfall-Chir. 77 (1973), 86-96

Wang	1990	Wang S.J., Liang P.L., Pai W.M., Au M.K., Lin L.C., Experience in open reduction and internal fixation of mid-shaft fractures of the clavicle, J Surg Assoc RPC 1990; 23:7-11
Watson-Jones	1955	Watson-Jones R., Fractures and joint injuries, E. & S. Livingstone Ltd. Vol II, p. 187
Watson-Jones	1957	Watson-Jones R., Fractures and joint injuries. Ed 3., vol 1. Edinburgh, E. & S. Livingstone, p. 112
Watson-Jones	1975	Watson-Jones R., Fractures and joint injuries. Ed 4. The Williams and Wilkins Co, Baltimore 1975,1:103-104
Webber	2000	Webber M.C., Haines J.F., The treatment of lateral clavicle fractures, Injury 2000 Apr;31(3):175-179
Weber	1973	Weber B.G., Pseudarthrosen. Bern-Stuttgart-Wien, Huber,
Weber	1976	Weber B.G., Pseudarthrosis of the Clavicle. In Pseudarthrosis: Pathophysiology, Biomechanics, Therapy, Results, pp. 104-107; New York, Grune and Stratton, 1976
Weber	1981	Weber B.G., Brunner C., The treatment of nonunions without electrical stimulation. Clin Orthop. 1981;161:24-32
Wehner	1967	Wehner W., Fehlergebnisse der Frakturbehandlung und ihre Korrekturmöglichkeiten, Beitr Orthop 14, 715 (1967)
Welz	1974	Welz K., Zweitosteosynthesen an der Clavicula, Zentralbl Chir 99: 1485-1487 (1974)
Wentz	1999	Wentz S., Eberhardt C., Leonhard T., Reconstruction plate fixation with bone graft for mid-shaft clavicular non-union in semi-professional athletes. J Orthop Sci. 1999;4(4):269-272
Wentzel	1879	Wentzel, Ueber Pseudarthrose der Clavicula, Inaug. Diss., Berlin 1879
White	1989	White R.R., Anson P.S., Kristiansen T., Healy W., Adult clavicle fractures: relationship between mechanism of injury and healing. Orthop Trans 13:514-515
Wick	1999	Wick M., Müller E.J., Muhr G., Clavicula-Frakturen: Wann besteht die Indikation zur sekundären Osteosynthese bei verzögerter oder fehlender knöcherner Konsolidierung ?, Hefte zu der Unfallchirurg 275:315 (1999)
Wick	2001	Wick M., Müller E.J., Kollig E., Muhr G., Midshaft fractures of more than 2 cm predispose to nonunion, Arch Orthop Trauma Surg. 2001;121(4):207-211
Wilhelm	1822	Wilhelm P., Über den Bruch des Schlüsselbeins u.s.w., Würzburg 1822, Taf.I, Fig. 4
Wilkins	1983	Wilkins R.M., Johnston R.M., Ununited fractures of the clavicle, J Bone Joint Surg Am. 1983 Jul;65(6):773-778
Witt	1952	Witt A.N., Die Behandlung der Pseudarthrosen, Berlin: Walter de Gruyter 1952
Witt	1958	Witt A.N., Cotta H., Chir. Praxis 1958, 69
Wodarz	1932	Wodarz A., Bruns' Beitr 156, 492-493 (1932)
Wolter	1984	Wolter D., Eggers C., Reposition und Fixation der acromioclaviculären Luxation mithilfe einer Hakenplatte, Hefte Unfallheilkd 170 (1984) 80
Wood	1986	Wood V.E., The results of total claviclectomy. Clin Orthop 207: 186-190, 1986
Wood	1987	Wood M.B., Upper Extremity reconstruction by vascularized bone transfer: Result and complication. J Hand Surg (Am) 12:422 (1987)
Wu	1998	Wu C.C., Shih C.H., Chen W.J., Tai C.L., Treatment of clavicular aseptic nonunion: comparison of plating and intramedullary nailing techniques, J Trauma 1998 Sep;45(3):512-516
Yates	1928	Yates A. G., Guest D., Cerebral embolism due to an ununited fracture of the clavicle and subclavian thrombosis, Lancet 2: 225, 1928
Yates	1976	Yates D.W., Complications of fractures of the clavicle, Injury 1976;7:189 -193
Yoshida	1997	Yoshida A., Ogawa K., Takahashi M., Naniwa T., Clinical study of the distal clavicle fracture, J Shoulder Elbow Surg 6(4):225, 1997
Younger	1989	Younger E.M., Chapman M.W., Morbidity at bone graft donor sites, J Orthop Trauma 3: 192-195 (1989)
Zenni	1981	Zenni E.J. Jr., Krieg J.K., Rosen M.J., Open Reduction and Internal Fixation of Clavicular Fractures, J. Bone and Joint Surg., 63-A: 147-151, 1981
Zilch	1982	Zilch H., Friedebold G., Pathophysiologie und Pathomechanik des Schultergürtels. Hefte Unfallheilkunde 160:16-42 (1982)
Zoria	1985	Zoria V.I., Popov A.V., (Pseudarthrosis and foreign body of the clavicle), Ortop Travmatol Protez 1985 Jul;(7):43-44 (russisch)

8. Dank

Mein herzlicher Dank gilt *Herrn Dr. med. O. Pieske* für die freundliche fachliche und finanzielle Unterstützung sowie für die anregenden Diskussionen im Rahmen der vorliegenden Dissertation.

Ebenso danke ich meinem Doktorvater *Herrn Dr. med. S. Piltz*, Leiter der Unfallchirurgie im Klinikum München-Großhadern für die kritische und konstruktive Würdigung der Doktorarbeit.

Danken möchte ich auch den Ärzten der Unfallchirurgie des Klinikums München-Großhadern für ihre allgemeinen chirurgischen Ratschläge sowie Informationen zur Therapie der Claviculafraktur.

Dem Lehrstuhl für Chirurgie unter der Leitung von *Herrn Prof. Dr. med. K.-W. Jauch* danke ich für die Überlassung des Themas der Dissertation.

Herrn Prof. Dr. med. H.L. Lindenmaier, Chefarzt für Unfallchirurgie im KH Memmingen darf ich für seine aktuellen fachlichen Ergänzungen und seiner Kommentierung aus historischer Sicht danken.

Herrn Dr. med. O. Goncharov gilt mein Dank für die Übersetzungen der russischen Literatur ins deutsche Schrifttum.

Meiner Ehefrau *Marion* und meinem Sohn *Florian* möchte ich großen Dank aussprechen für ihre beständige Unterstützung und ihr Verständnis.

9. Lebenslauf

29.05.1958	Geburt	München
1964-1969	Grundschule	München
1969-1978	Max-Planck-Gymnasium	München
06/1978	Abitur	Max-Planck-Gymnasium, München
1978-1979	Grundwehrdienst	Landsberg/Lech
1979-1984	Chemie-Studium	TU München
1984-1987	Chemie-Promotion	TU München
1987-1990	Projektmanager ,Forschung & Entwicklung'	STEINBEIS, Bruckmühl
1990-1996	Bereichsleiter ,Technologie'	FELDMÜHLE, Lahnstein
1997-1999	Bereichsleiter ,Forschung & Entwicklung'	THERMOPAL, Leutkirch
1999-2006	Medizin-Studium	TU München, LMU München
06/2006	Medizin-Approbation	LMU München
seit 07/2006	Assistenzarzt	BKH Memmingen