

*Arthroskopisch assistierte Versorgung  
der akuten Instabilität des  
Akromioklavikulargelenks*

**Gunnar Jensen, Rony-Orijit Dey  
Hazra, Marek Hanhoff, Helmut Lill &  
Alexander Ellwein**

**Obere Extremität**  
Schulter · Ellenbogen

ISSN 1862-6599

Obere Extremität  
DOI 10.1007/s11678-020-00567-z



**Your article is protected by copyright and all rights are held exclusively by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature. This e-offprint is for personal use only and shall not be self-archived in electronic repositories. If you wish to self-archive your article, please use the accepted manuscript version for posting on your own website. You may further deposit the accepted manuscript version in any repository, provided it is only made publicly available 12 months after official publication or later and provided acknowledgement is given to the original source of publication and a link is inserted to the published article on Springer's website. The link must be accompanied by the following text: "The final publication is available at [link.springer.com](http://link.springer.com)".**

## Übersicht

Obere Extremität

<https://doi.org/10.1007/s11678-020-00567-z>

Eingegangen: 28. November 2019

Angenommen: 12. März 2020

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von  
Springer Nature 2020Gunnar Jensen<sup>1</sup> · Rony-Orijit Dey Hazra<sup>1</sup> · Marek Hanhoff<sup>1</sup> · Helmut Lill<sup>1</sup> ·  
Alexander Ellwein<sup>2</sup><sup>1</sup> Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, BG Klinikum Hamburg im DIAKOVERE Friederikenstift,  
Hannover, Deutschland<sup>2</sup> Orthopädische Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), DIAKOVERE Annastift, Hannover,  
Deutschland

# Arthroskopisch assistierte Versorgung der akuten Instabilität des Akromioklavikulargelenks

## Was haben wir in über 10 Jahren klinischer Erfahrung gelernt?

Bei der Versorgungsstrategie der höhergradigen akuten Instabilitäten des Schultergelenks (Akromioklavikulargelenk [ACG]) hat es in den letzten Jahren eine Vielzahl an Innovationen gegeben. Mit Einführung der arthroskopisch assistierten Verfahren hat vielerorts ein Paradigmenwechsel in der Versorgung stattgefunden, und das ACG steht vermehrt im Fokus des wissenschaftlichen Interesses. Zwischenzeitlich sind hier sehr gute mittelfristige klinische Resultate sowie eine Vielzahl an biomechanischen und klinischen Studien vorliegend. Auf viele offene Fragen wurden jedoch noch keine zufriedenstellenden Antworten gefunden. In der operativen Praxis der Autoren liegt inzwischen ein Erfahrungsschatz von mehr als 10 Jahren vor und es stellt sich die Frage: Was haben wir gelernt und wo stehen wir?

### Hintergrund

Bei akuten Instabilitäten des ACG handelt es sich um alltagsrelevante Verletzungen, da sie zu den häufigsten Unfallfolgen am Schultergürtel gehören. Sie betreffen v. a. körperlich aktive Erwachsene in der 3. und 4. Lebensdekade (Verhältnis Männer:Frauen: 5:1; [34]).

Niedriggradige ACG-Instabilitäten (Typ Rockwood [RW] I und II) wer-

den konservativ behandelt. Unstrittig ist ebenfalls, dass höhergradige Verletzungsformen (Typ IV, V, VI) einer zeitnahen operativen Versorgung zugeführt werden sollten. Für das in sich durchaus heterogene Patientengut der RW-III-Verletzungen (mit und ohne horizontale Begleitinstabilität bzw. Typ IIIa vs. IIIb) gibt es bis dato keine klar evidenzbasierten Therapieempfehlungen und die Indikation bleibt eine Einzelfallentscheidung (s. Artikel: Tauber et al. in diesem Heft; [29]).

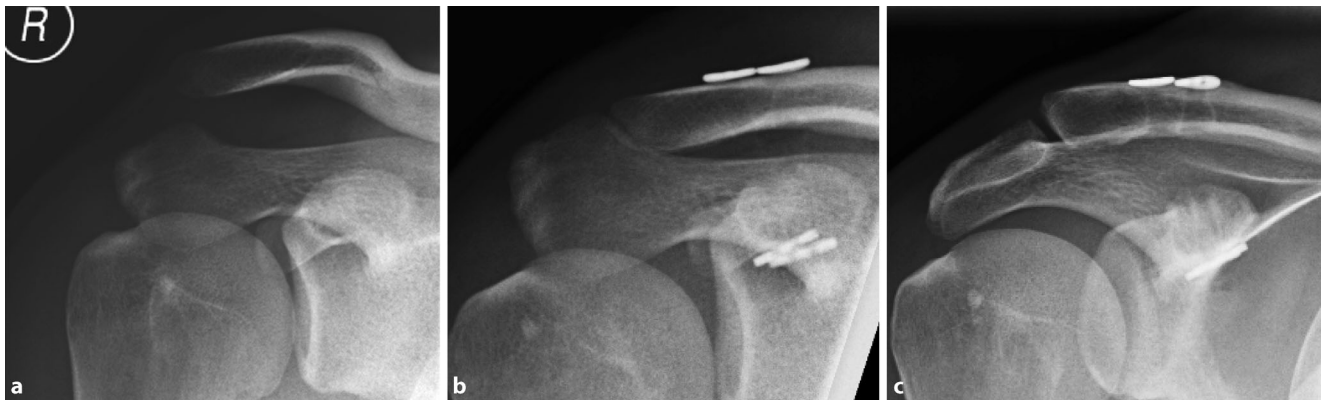
### Evolution der arthroskopisch assistierten Versorgung

Die Diskussion um das optimale Operationsverfahren dauert seit Jahrzehnten an. Es ist eine Vielzahl an verschiedenen konventionell-offenen und in den letzten Jahren auch arthroskopisch assistierten Verfahren beschrieben. Beitzel et al. [9] identifizierten in einem systematischen Review 2013 bereits 162 verschiedene Operationstechniken zur operativen Versorgung der ACG-Instabilität.

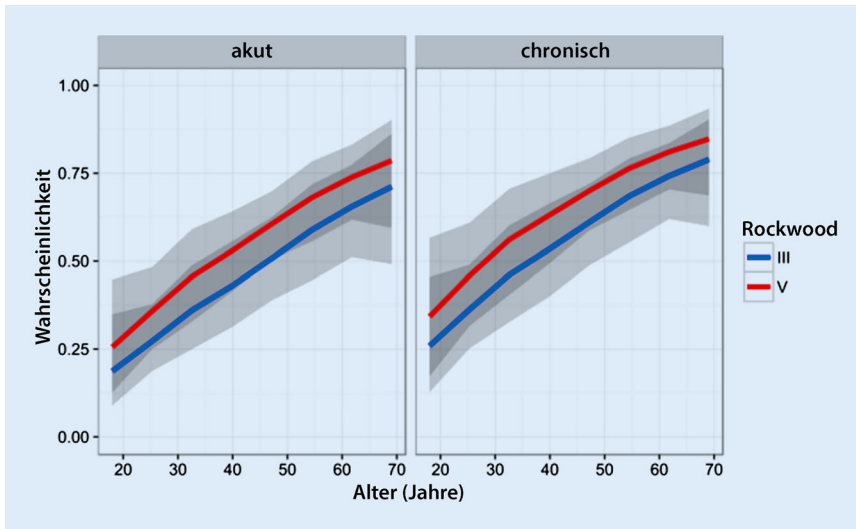
Wolf und Pennington [57] beschrieben 2001 erstmals eine rein arthroskopische transklavikuläre-transkorakoidale Operationstechnik mittels Kreuzbandzielbügel und Fixation mit synthetischem Fadenmaterial. 2004 beschrieben Roll-

et al. [41] eine arthroskopische Modifikation für die Implantation einer kanülierten korakoklavikulären (CC-)Bosworth-Schraube. 2005 wurde von Elser et al. [14] eine arthroskopische Fadenspanntechnik zur Retention einer ACG-Sprengung publiziert. Erste klinische Resultate einer Doppelbuttontechnik wurden 2005 vorgestellt [40]. Hier wurde ebenfalls erstmalig eine Verwendung des ursprünglich für die Versorgung von Syndesmoseninstabilitäten entwickelten TightRope®- (TR-)Systems (Fa. Arthrex, Naples, FL, USA) als singuläres Implantat beschrieben. Die inzwischen weit verbreitete „anatomische“ Doppel-TR-Technik wurde 2008 technisch beschrieben (Abb. 1; [46]). Biomechanische Studien [56] folgten im gleichen Jahr sowie erste klinische Resultate 2010 [45]. Im Institut der Autoren erfolgte die erste arthroskopisch assistierte Versorgung einer ACG-Instabilität 2008. In den letzten Jahren wurden die operative Technik sowie die Implantate rasant weiterentwickelt und die Technik hat sich rasch verbreitet. Einer Umfrage zufolge favorisierten bereits 2012 27 % der Chirurgen eine arthroskopisch assistierte Doppelbuttontechnik. Häufiger wurde mit 44 % lediglich die Hakenplatte (HP) zu dem Zeitpunkt als Versorgungskonzept angegeben [7]. Die gleiche Autorengruppe

Übersicht



**Abb. 1** ▲ Versorgungsbeispiel einer Doppel-TightRope®-(TR-)Technik: **a** Unfallbilder mit akuter ACG(Akromioklavikulargelenk)-Instabilität Rockwood III (**b**). **b** Postoperative Kontrolle mit anatomischer Reposition. **c** Verlaufsröntgen 4 Jahre nach Versorgung (Röntgenindikation: neuerliches Schultertrauma): weiterhin anatomische Stellung mit intaktem Alignment; beachte das klavikuläre und korakoidale „tunnel widening“. (Aus [25])



**Abb. 2** ▲ Statistische Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer glenohumeralen Begleitpathologie bei ACG-Instabilität nach Patientenalter, akuter oder chronischer Läsion und Verletzungstyp nach Rockwood. (Mod. nach [24])

unterschied zwischen sog. Schulter spezialisten und arthroskopisch versierten Chirurgen (Mitglieder der Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie [AGA] sowie der Deutschen Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie [DVSE]) sowie „Nichtspezialisten“. Die spezialisierten Chirurgen favorisierten bereits zu diesem Zeitpunkt die Doppelbuttontechnik [6].

Eine vergleichbare aktuellere Umfrage unter Schweizer Kollegen dokumentierte, dass traumaassoziiert arbeitende Kollegen die HP favorisieren (51,4% HP, 20% arthroskopisches Verfahren, 14,3% MINAR® [Fa. Karl Storz, Tuttlingen]), während orthopädische Kollegen

mit 38,1% die arthroskopische Technik präferieren (23,8% HP; 4,8% MINAR®; [2]).

**Vergleich Hakenplatte vs. Doppelbuttonsystemen**

Bei der HP handelt es sich um ein seit Jahrzehnten etabliertes Implantat für die Versorgung von ACG-Instabilitäten [16, 19, 26], für das gute bis sehr gute Resultate beschrieben sind. Di Francesco et al. [16] konnten in klinischen und MRT-Kontrollen bei 42 RW-III- und -V-Verletzten bei 88% ein durchgehendes narbiges Regenerat an Stelle der CC-Bänder nachweisen mit einem durchschnittlichen Con-

stant-Murley-Score (CMS) von 91 Punkten. Kienast et al. [26] berichten in einer retrospektiven Studie mit 225 Patienten über gute und exzellente klinische Ergebnisse in 89% der Patienten mit einem CMS von 92,4 Punkten nach 3 Jahren.

Die Komplikationsrate nach HP-Versorgung wird mit 10–19% angegeben [16, 19, 26]. Hierbei werden vorwiegend Wundheilungsstörungen, Serome und oberflächliche Infektionen aufgeführt, ein Bruch des subakromialen Hakens ist selten (2%; [26]). Ein partieller Verlust des postoperativ erzielten Repositionsergebnisses wird nach der Entfernung des Implantats mit 3–67% allerdings häufig beobachtet [5, 26, 30, 44].

Neben dem erforderlichen Zweiteingriff bei der HP zur Implantatentfernung ist die Notwendigkeit der Positionierung des rigidem Hakens als Widerlage für die Reposition im unverletzten subakromialen Raum ein wesentlicher Kritikpunkt. Arrosionen des Akromions werden in >60% berichtet [50] bis hin zu akromialen Stressfrakturen [15, 22, 26]. Nach Lin et al. [32] zeigte sich ein subakromiales Impingement bei bis zu 38% der Patienten, welches auch nach Implantatentfernung persistierte. Bei 15% der Patienten wurden in diesem Kollektiv Rupturen einer präoperativ unverletzten Rotatorenmanschette in der Sonographie nachgewiesen.

Bei den arthroskopisch assistierten (v. a. die 2-TR-Technik; [22, 48, 55]) und auch bei den minimal-invasiv angewandten (MINAR®, [42]) Doppelbuttonsystemen

## Zusammenfassung · Abstract

men sind ebenfalls bereits mittelfristige Resultate mit geringen Komplikationsraten von 0–12 % und sehr guten klinischen Resultaten mit mittleren CMS-Werten von 92–95 Punkte vorliegend.

Zu den offenen und auch minimal-invasiven bzw. arthroskopischen Verfahren liegen eine Vielzahl an Fallserien vor. Direkt vergleichende Arbeiten gibt es hingegen nur wenige (■ Tab. 1). 2015 kam eine Metaanalyse der bis dato lediglich retrospektiv erhobenen Daten zu dem Ergebnis, dass die Doppelbutton-systeme gegenüber der HP tendenziell bessere Ergebnisse anhand des CMS zeigten. Hinsichtlich Komplikationsrate, Repositionsergebnis und ACG-Rezidivinstabilität zeigte sich jedoch kein signifikanter Unterschied. Die angewandten minimal-invasiven Verfahren unterschieden sich zudem deutlich voneinander (1 × MINAR®-System, mini-offen [35]; 1 × Single-TR plus 3 Wochen temporäre Kirschner-Draht-ACG-Arthrodese [3]; 1 × 2-TR [22]). Die zwei seitdem publizierten Studien mit einem prospektiven Design zeigen signifikant bessere klinische sowie radiologische Ergebnisse bezüglich des CC-Abstands beim finalen Nachuntersuchungszeitpunkt bei der arthroskopischen Technik. Bin Abd Razak et al. [1] berichten diese mit einer Single-TR-Technik. Stein et al. [51] beschreiben diese mit einer 2-TR-Technik. Dieselbe Autorengruppe berichtet über ein signifikant verbessertes sportartspezifisches Outcome bei der 2-TR-Technik gegenüber der HP mit einer höheren Return-to-play-Rate und empfehlen die 2-TR-Technik trotz der höheren Kosten und der restriktiveren Nachbehandlung insbesondere für Athleten mit einem hohen funktionellen Anspruch [36].

### Glenohumerale Begleitpathologien

Ein Hauptvorteil des arthroskopisch assistierten Verfahrens ist neben dem einzeitigen Vorgehen die Möglichkeit zur direkten Diagnostik und Therapie von glenohumeralen Begleitpathologien, die bei höhergradigen ACG-Instabilitäten in 23–53 % identifiziert werden können [4, 24, 38]. Die betroffenen Strukturen sind

Obere Extremität <https://doi.org/10.1007/s11678-020-00567-z>  
© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

G. Jensen · R.-O. Dey Hazra · M. Hanhoff · H. Lill · A. Ellwein

## Arthroskopisch assistierte Versorgung der akuten Instabilität des Akromioklavikulargelenks. Was haben wir in über 10 Jahren klinischer Erfahrung gelernt?

### Zusammenfassung

Instabilitäten am Schulterergelenk gehören zu den häufigsten Verletzungsfolgen am Schultergürtel. In den letzten Jahren haben sich die arthroskopisch assistierten (und auch minimalinvasiven) Doppelbutton-Techniken zur operativen Stabilisierung zunehmend etabliert und finden breite Anwendung. Zwischenzeitlich liegt ein klinischer Erfahrungsschatz von mehr als 10 Jahren vor. Die vorliegenden mittelfristigen Resultate sowohl mit einem, wie auch mit zwei Implantaten sind überwiegend sehr gut mit akzeptablen Revisionsraten. Weitere Vorteile der Technik mit flexiblen kortikalen Fixationsbuttons sind das Vermeiden eines Zweiteingriffs zur Implantatentfernung sowie die Möglichkeit zur Identifikation und einzeitigen Behandlung von glenohumeralen Begleitpathologien, die in bis zu 53 % anzutreffen sind. In

12 % der höhergradigen Akromioklavikulargelenkinstabilitäten sind zusätzliche rekonstruktive Maßnahmen zur Adressierung der Begleitpathologien indiziert. Im direkten Vergleich zu den konventionellen Verfahren wie der Hakenplatte zeigen aktuelle Arbeiten teils signifikant bessere klinische Resultate. Die Operationstechnik und die Implantate wurden konsequent weiterentwickelt. Für einen optimalen Behandlungserfolg sollte neben einer korakoklavikulären Stabilisierung auch eine zusätzliche horizontale Augmentation der akromioklavikulären Ligamente durchgeführt werden.

### Schlüsselwörter

Arthroskopie · Schulterergelenk · Bänder · Doppelbutton · Glenohumerale Begleitverletzung

## Arthroscopically assisted treatment of acute acromioclavicular joint instability. What have we learned from 10 years of experience?

### Abstract

Instabilities of the acromioclavicular joint (ACJ) account for a majority of injuries to the shoulder girdle. Over the past years, both the arthroscopy-assisted and minimally invasive double-button techniques have become established as the techniques of choice for the surgical management of aforementioned injuries. In the meantime, data that have been collected over the past 10 years are now available. The midterm results of single and double implant procedures show good outcomes with acceptable rates of revision procedures. Advantages of the technique with flexible cortical fixation buttons are the avoidance of a secondary implant removal operation and the opportunity to identify and treat accompanying glenohumeral pathologies, which are found in up to 53% of

cases. In 12% of high-grade ACJ instabilities further reconstructive measures that aim to address accompanying pathologies are indicated. When compared directly to conventional procedures, such as the hook plate, current data on the double-button technique show significantly better results. Both the surgical technique and the implants were consistently developed. For optimal treatment outcomes, both coracoclavicular stabilization and horizontal augmentation of the acromioclavicular ligaments are recommended.

### Keywords

Arthroscopy · Acromioclavicular joint · Ligaments · Double button · Concomitant glenohumeral pathologies

v. a. die anterosuperiore Rotatorenmanschette sowie der Bizepssehnenkomplex. Jensen et al. [24] untersuchten ein Kollektiv von 376 akuten sowie chronischen RW-III- und -V-Instabilitäten, die arthroskopisch assistiert versorgt wurden. Bei 12 % vom Gesamtkollektiv waren

weiterführende rekonstruktive Maßnahmen notwendig wie z. B. eine Bizepssehnenentodese oder eine Rekonstruktion der Rotatorenmanschette. Bei 41,5 % der Patienten reichte ein Débridement der betroffenen Struktur als therapeutische Maßnahme. RW-V-Verletzungen haben

Übersicht

**Tab. 1** Vergleichende Studien: flexible Doppelbuttonsysteme vs. Hakenplattentechnik

Studie	Design/Verletzungsmuster/Evidenzgrad	Technik/Patientenzahl Follow-up (Monate)	Klinische Ergebnisse			Revisionen/Komplikationen
Andreani et al. (2013) [3]	Retrospektiv-vergleichend/RW-IV–VI/Level III	LCP-HP (Fa. Synthes, West Chester, USA; $n = 9$ ) vs. Single-TightRope® plus 3 Wochen AC-Transfixation mit Kirschner-Draht ( $n = 19$ ) Gesamt-FU 24 (Range 6–48)	UCLA-Score: HP: 80 Pkt. TR: 95 Pkt. CMS: HP: 75 Pkt. (Range 65–85) TR: 90 Pkt. (Range, 74–99)			Keine Revisionen, in 8 von insgesamt 28 Fällen asymptomatischer geringer Repositionsverlust sonst radiologisch anatomisches Ergebnis, 2 × asymptomatische ACG-Arthrose
Jensen et al. (2014) [22]	Retrospektiv-vergleichend/RW III und V/Level III	LCP-HP ( $n = 30$ ); FU 48 (7–77) Double-TR (Fa. Arthrex; $n = 26$ ) FU 17 (17–29)	–	DTR	HP	Revisionsrate HP vs. DTR: 13 vs. 12 % davon DTR: 3 × Rezidivinstabilität davon HP: 3 × Schultersteife mit Impingement (davon 2 × mit ACG Arthrose); 1 × Akromionfraktur vergleichbarer vertikaler Repositionsverlust bei beiden Verfahren (signifikant erhöht gegenüber der gesunden Seite)
			CMS	94 Pkt. (55–105)	92 Pkt. (22–105)	
			SST:	11,0 ± 1,3 Pkt.	10,4 ± 2,8 Pkt.	
			Taft	10 Pkt. (5–12)	10 Pkt. (3–12)	
Metzlaff et al. (2014) [35]	Retrospektiv-vergleichend/RW III und V/Level III	HP: Dreithaler (AAP, Berlin; $n = 20$ ); MINAR®; Minimal-invasiv, keine ASK; ( $n = 24$ ); Gesamt-FU 32 (24–51)	–	HP	MINAR®	HP: keine Revisionen CC-Abstand: 14,1 mm (Range, 12,1–23) MINAR®: 1 × Implantatversagen CC-Abstand: 13,2 mm (Range, 11,7–24)
Bin Abd Razak et al. (2018) [1]	Prospektiv-vergleichend/RW II–I–V/Level III	HP; $n = 10$ Single-TightRope®; $n = 16$ Gesamt FU 23 (14–35)	–	HP	STR	HP: 1 Haken „cut out“; 1 Akromionerosion; 1 Akromionfraktur STR: keine
			CMS	77,5 ± 12,3	87,6 ± 11,7	
			CC-Abstand	11,8 ± 1,7	13,6 ± 4,8	
Stein et al. (2018) [51]	Prospektiv-vergleichend 64 % randomisiert, 35 % vom Patienten gewähltes Verfahren/RW III–V Level II	HP: 3,5 mm, keine Herstellerangabe, $n = 27$ FU 40,12 ± 23,64 Double-TightRope® $n = 29$ FU 30,75 ± 1,41	–	HP	2-TR	ME-HP in allen Fällen nach 9,1 ± 1,6 Wochen, sonst keine Komplikationen keine Revisionen/Folge Operationen in 2-TR-Gruppe keine Unterschiede in Subanalyse bei RW III, jedoch signifikant bessere klinische Resultate in Subgruppenanalyse RW IV und V zugunsten der 2-TR-Technik
			CMS	90,2 ± 7,8	95,3 ± 4,4	
			Taft	9,4 ± 1,7	10,9 ± 1,1	
			CC-Abstand	19,4 ± 6,4	17,0 ± 4,2	

FU Follow-up, TR TightRope®, HP Hakenplatte, ACG Akromioklavikulargelenk, CC korakoklavikulär, CMS Constant-Murley-Score, RW Rockwood, Pkt. Punkte, LCP „locking compression plate“, SST Simple-shoulder-Test

eine erhöhte Rate an Begleitpathologien gegenüber RW-III-Läsionen ( $p = 0,013$ ; Odds Ratio [OR] 1,7). Bei chronischen Instabilitäten zeigte sich gegenüber den akuten Instabilitäten ebenfalls eine signifikant höhere Rate ( $p = 0,019$ ; OR 1,7). Als Hauptprädiktor für das Vorliegen einer Begleitpathologie zeigte sich jedoch das Patientenalter (Abb. 2). Pauly et al. [38] beschreiben in ihrem Kollektiv von 125 Patienten Begleitpathologien bei 30,4 % der Verletzten. Bei lediglich 7,2 % der Population standen diese direkt mit dem Trauma in Zusammenhang. Bei 14,4 % der Patienten waren diese jedoch

vom morphologischen Aspekt her degenerativer Genese. Bei 8,8 % war nicht klar zuzuordnen, ob ein direkter Zusammenhang zu dem Trauma bestand, oder ob die Läsion vorbestehend war. Sicherlich sind die detektierten Läsionen gerade bei zunehmendem Patientenalter häufig vorbestehend und die Adressierung dieser nicht immer zwingend Outcome-verbessernd.

Unbestritten ist jedoch, dass man ohne die Arthroskopie relevante, rekonstruktionsbedürftige Pathologien verpassen kann.

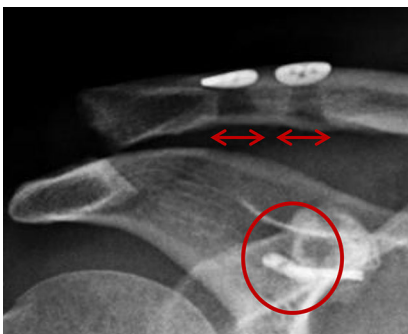
Gerade bei älteren Patienten, höhergradigen ACG-Instabilitäten, anhaltenden Beschwerden unter konservativer Therapie oder vor Durchführung einer rein offenen Stabilisierung sollte eine erweiterte bildgebende Abklärung z. B. im Sinne einer MRT erfolgen.

### Ein oder zwei Doppelbuttonsysteme?

Bei den flexiblen Doppelbuttonsystemen wird nach wie vor kontrovers diskutiert, ob lediglich ein singuläres Doppelbuttonsystem ausreichend für eine erfolgreiche



**Abb. 3** ▲ Typischer Verlauf einer Rockwood-V-Instabilität eines 53-jährigen Patienten nach Single-TR-Versorgung mit zusätzlicher minimal-invasiver akromioklavikulärer (AC-)Cerclage: **a** Unfallbilder, **b** postoperativ: anatomische Reposition, **c** Zielaufnahme mit 10 kg Belastung 2 Jahre postoperativ: geringer Repositionsverlust um wenige Millimeter, moderate Ossifikationen im Verlauf des Lig. conoideum, konisches „tunnel widening“ des klavikulären Bohrkanals. (Aus [25])



**Abb. 4** ▲ Rezidivinstabilität 6 Monate nach Doppel-TR-Technik (Pfeile konusartige Aufweitung der Bohrkanäle). Bei insuffizienter Narbenbildung der CC-Bänder kann es nach Fadenruptur zu einer Rezidivinstabilität kommen (Kreis möglicher Cut-out des lateralen subkorakoidalen Buttons). (Aus [25])

Therapie ist oder ob die Verwendung von 2 Implantaten zu bevorzugen ist.

Sowohl für eine minimal-invasive und auch arthroskopische mit einem (Abb. 3; [39, 42]) als auch mit zwei Doppelbuttonsystemen sind sehr gute bis exzellente Resultate beschrieben [48, 55]. Aus biomechanischer Sicht ist ein singuläres Konstrukt bereits rigider als die nativen Ligamente [8], eine Technik mit zwei Doppelbuttonsystemen ist jedoch grundsätzlich bei der Load-to-failure-Testung als noch stabiler zu betrachten [56]. In einer prospektiv vergleichenden Studie mit mindestens 1 Jahr Follow-up zeigte sich kein relevanter Unterschied in den klinischen Scores zwischen einer Single-TR- ( $n = 14$ ) gegenüber einer 2-TR-Technik ( $n = 15$ ). Einzig bezüglich des radiologischen Outcomes zeigte sich in der 2-TR-Gruppe bei der RW-V-Instabilität eine etwas geringere gemit-

telte CC-Distanz, jedoch ohne klinisches Korrelat [37].

Die sog. „anatomische“ 2-TR-Technik versucht mit den zwei Bohrkanälen den originären Bandverlauf nachzuahmen. Aus rein anatomischer Sicht ist dies über eine kollineare Bohrtechnik via Zielbügel jedoch nicht möglich [11, 28, 58]. Die Technik ist also lediglich als „anatomienah“ zu bezeichnen. Sowohl die vertikale als auch horizontale Primärstabilität sind jedoch durch Verwendung von 2 Doppelbuttonsystemen höher einzu-stufen.

Bei den flexiblen Doppelbuttonkonstrukten tritt im Verlauf eine teils deutliche Weitung v. a. der klavikulären Bohrkanäle auf [22, 31, 52]. Bei der Verwendung von zwei Doppelbuttonsystemen besteht somit ein erhöhtes Risiko von Frakturen der Klavikula und auch des Korakoids [33, 53]. Dieses Frakturrisiko kann durch eine Operationstechnik mit jeweils nur einem zentralen Bohrkanal zwischen den rupturierten CC-Ligamenten im Sinne einer Single-Tunnel-Technik und nur einem Doppelbuttonsystem minimiert werden.

Die Anzahl und der Durchmesser der Bohrkanäle sollte, gerade bei Risikopatienten wie Kollisionsathleten, so gering wie möglich sein [53].

### Wertigkeit der zusätzlichen AC-Augmentation zur horizontalen Stabilisierung

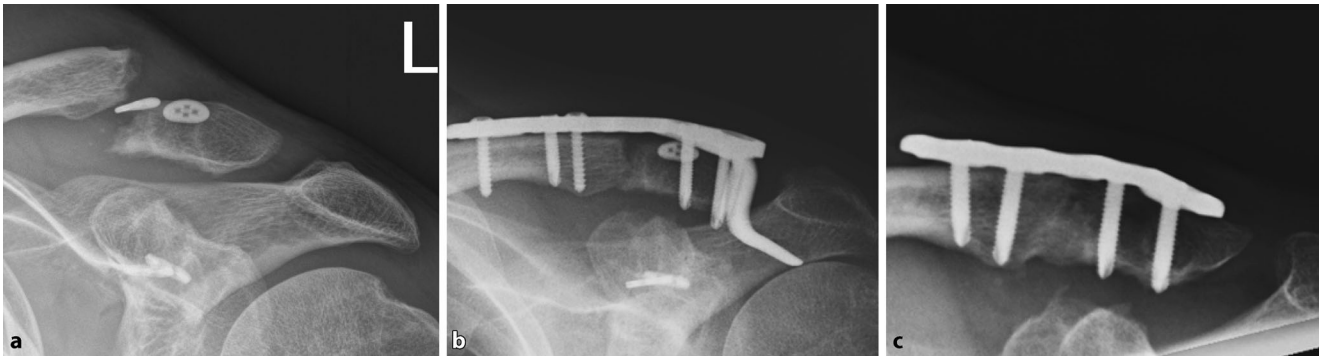
Bei akuten Verletzungen des ACG  $\geq$  Typ RW IIIa ist neben den CC-Bändern (Hauptstabilisator in der Vertikalebene)

zusätzlich die AC-Gelenkkapsel vollständig rupturiert. Die ACG-Kapsel wird durch die posterosuperioren Ligamente verstärkt, die Hauptstabilisator in der Horizontalebene nach dorsal sind [27]. Eine postoperativ verbliebene horizontale (Rest-/Rezidiv-)Instabilität stellt einen unabhängigen Prädiktor für ein schlechteres Outcome dar [22, 48].

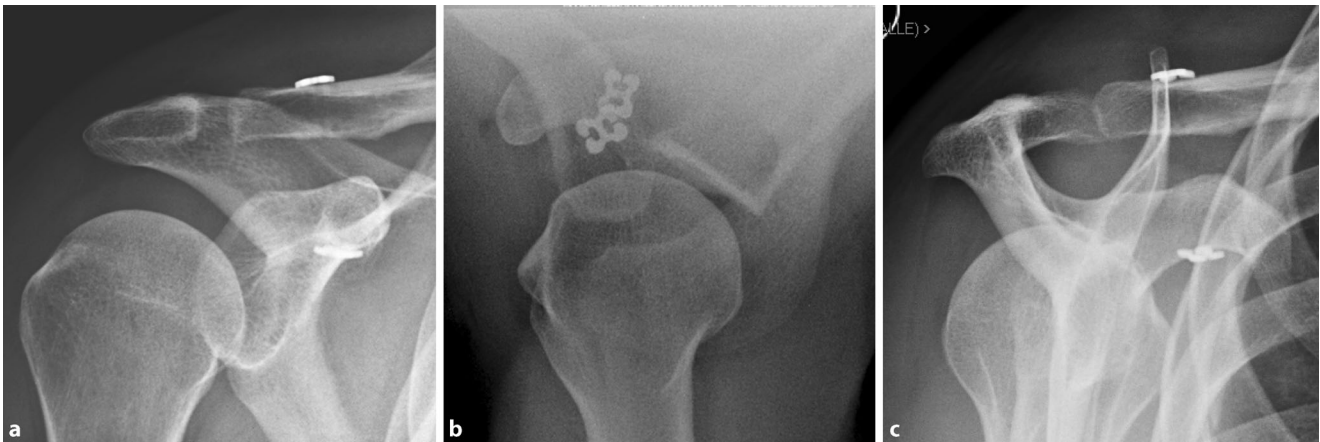
Für ein bestmögliches klinisches Resultat sollten alle Komponenten der Instabilität intraoperativ adressiert werden und die CC-Stabilisierung mittels Doppelbuttonsystem um eine zusätzliche AC-Stabilisierung erweitert werden.

Die diesbezüglich vorliegenden biomechanischen Ergebnisse sind teils widersprüchlich. Saier et al. [43] konnten einen deutlichen stabilisierenden Effekt einer „figure of 8“ Tape-Cerclage nachweisen. Dyrna et al. [13] folgerten ebenfalls nach Testung von 5 verschiedenen AC-Augmentationsverfahren, dass sich synergistische Effekte zur Rekonstruktion der CC-Ligamente nachweisen ließen. Einen relevanten Unterschied zwischen den verschiedenen getesteten AC-Augmentationen beobachteten sie jedoch nicht (anterior, posterior, superior, O-Rahmen, X-Rahmen). Andere aktuelle biomechanische Studien von Theopold et al. [54] und Schär et al. [47] stellen den Wert einer additiven Horizontalcerclage zumindest bei einer Technik mit 2 Doppelbuttonsystemen in Frage.

## Übersicht



**Abb. 5** ▲ Komplikationsverlauf eines 50-jährigen Patienten: **a** Klavikulafraktur im medialen Bohrloch 7 Monate nach Doppel-TR-Versorgung bei einem erneuten Trauma (Sturz beim Skifahren). **b** Ex domo erfolgte am Unfalltag ambulant die Versorgung mittels Hakenplatte ohne Adressierung der „Tunnel-widening-Defekte“. Ausbleibende Konsolidierung 4 Monate später zum geplanten Zeitpunkt der Hakenplatten-ME. **c** Dokumentation der knöchernen Konsolidierung 6 Monate nach Konversion auf eine winkelstabile 3,5-mm-LCP-Platte („locking compression plate“). (Aus [25])



**Abb. 6** ▲ Versorgungsbeispiel: postoperative Röntgenkontrolle nach ACG-DogBone®-Stabilisierung (Fa. Arthrex) mit AC-Tape-Cerclage, **a** a.-p.-Zielaufnahme: anatomische Wiederherstellung des vertikalen Alignements, **b** axiale Aufnahme: zentrale Implantatlage auf der Klavikula sowie in der Korakoidbasis, **c** Y-Aufnahme: Dokumentation der subkorakoidalen Buttonlage sowie anatomische Artikulation im ACG. (Aus [23])

## Komplikationen

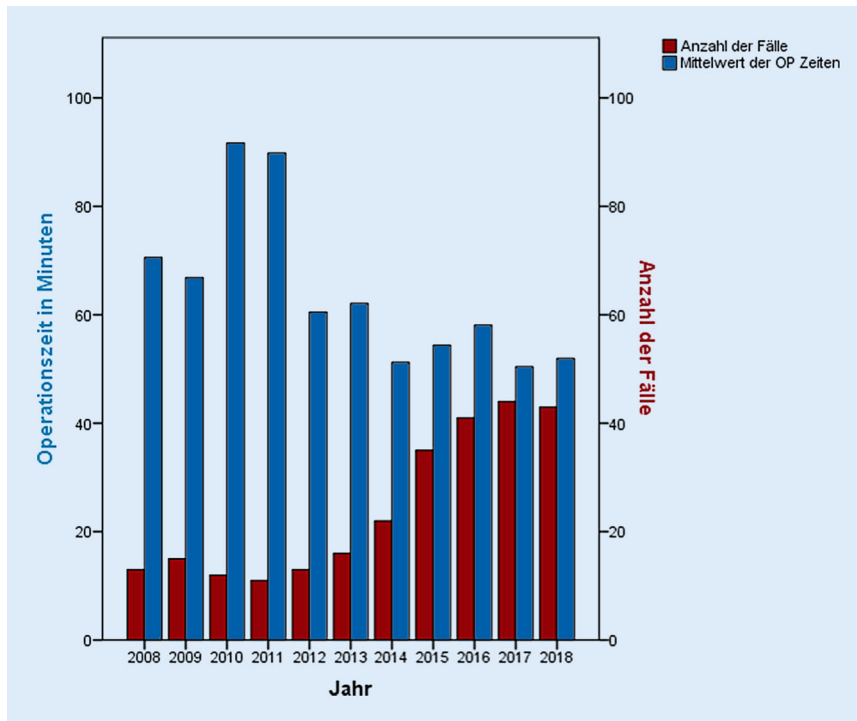
Alle beschriebenen Operationsverfahren am Schulterergelenk haben ihre spezifischen Risiken. Allen Verfahren zur Stabilisierung der aktuellen ACG-Instabilität ist jedoch gemeinsam, dass es im Verlauf häufig zu einem meist in der a.-p.-Röntgenaufnahme erfassten Repositionsverlust kommt. Dies ist im Wesentlichen biologisch mitbedingt durch eine oft insuffizienten Narbenbildung der CC-Bänder zum Zeitpunkt des Implantatversagens oder der Implantatentfernung bei offenen Verfahren [22]. Bei der Doppelbuttontechnik sind die Hauptgründe für den Repositionsverlust ein klavikuläres Einsinken der Button, v. a. beim 1. Generations-TR mit einer kleinen klavikulären Auflagefläche. Bei der nächsten

Implantatgeneration wurde der Durchmesser des klavikulären Buttons erhöht und das klavikuläres Einsinken somit verhindert. Als weitere Gründe sind ein Fadenversagen oder ein subkorakoidaler Cut-out der Fixationsplättchen zu nennen (▣ **Abb. 4**; [37, 48, 49]). Durch eine bildwandlerkontrollierte Bohrkanalplatzierung konnte die Rate an korakoidalen Cut-outs der Implantate deutlich gesenkt werden [42]. In einer Komplikationsanalyse von 116 Fällen beobachteten Clavert et al. [10] ein radiologisches Versagen (definiert als >50% Repositionsverlust bzw. Zunahme des CC-Abstands im Vergleich zu Gegenseite) in 41,3%. Risikofaktoren hierfür waren: ein späterer Operationszeitpunkt und ein erhöhter Body Mass Index (BMI). In vielen Studien korreliert das radiologische

„Versagen“, also der sekundäre vertikale Repositionsverlust nicht mit dem klinischen Outcome [22, 42, 48]. Das bei überwiegten Patienten erhöhte Eigengewicht des Arms, welches durch vermehrte Zugkräfte nach kaudal Stress auf die augmentierten Ligamente ausübt, scheint für ein zumindest radiologisch schlechteres Outcome mitverantwortlich zu sein. Ebenso wichtig erscheint in diesem Kontext die Entlastung der Konstrukte während der Heilungsphase durch eine konsequentes Tragen der Ruhigstellungsorthese im Sinne einer restriktiven Nachbehandlung sowie eine adäquate Patientenaufklärung und gute Compliance diesbezüglich.

Bis zu 46% der Patienten beklagen Druckschmerzen oder moderate Missempfindungen über dem Implantat und





**Abb. 7** ▲ Darstellung der arthroskopisch assistiert versorgten hochgradigen akuten ACG-Instabilitäten an der Klinik der Autoren im Zeitraum von 2008 bis inklusive 2018 sowie die Entwicklung der Operationszeit (in min)

Knotenkonvolut an der Klavikula [22], Folgeoperationen diesbezüglich sind jedoch selten (2 von 59 Patienten; [20]).

Das Risiko von Periimplantatfrakturen an Klavikula oder Korakoid liegt bei der Doppelbuttontechnik bei <3,5% [17] und können als Folge einer Ausweitung (einem sog. „tunnel widening“) der Bohrkanäle aufgefasst werden ([22, 31, 52]; **Abb. 5**).

Die Infektionsrate bei der Doppelbuttontechnik wird in einer aktuellen Metaanalyse mit 2,6% angegeben [18]. Die Revisionsrate insgesamt liegt nach aktueller Studienlage bei Verwendung dieser Implantate bei 0–13% [20, 22, 42, 55].

## Eigenes Vorgehen

Im eigenen operativen Vorgehen wurden die akuten sowie auch die chronischen ACG-Instabilitäten seit 2008 fast ausschließlich arthroskopisch assistiert versorgt. Von 2008–2010 wurde die 2-TR-Technik durchgeführt. Die Revisionsrate in diesem Kollektiv und letztlich auch am Beginn der Lernkurve für dieses Verfahren lag bei 12%. Die Operationsdauer betrug in diesem Kollektiv  $71 \pm 23$  min

( $n = 31$ ; [21]). 2010 erfolgte die Umstellung auf eine Single-TR-Technik und die Operation wurde um eine minimal-invasive AC-Cerclage erweitert. Zusätzlich wurde der Bildwandler (BV) regelhaft in das operative Setting implementiert und die Anlage aller Bohrkanäle erfolgte unter radiologischer Kontrolle. Die Revisionsrate konnte in diesem Kollektiv auf 3% gesenkt werden. Die Operationszeit betrug  $84 \pm 18$  min ( $n = 44$ ; [21]). Als Grund für einen Repositionsverlust zeigte sich überwiegend ein Fadenversagen. Ab 2013 folgte die Umstellung auf 2 DogBone®-Plättchen (Fa. Arthrex, Freiham, 3. Implantatgeneration) als kortikale Fixationsbutton klavikulär und subkorakoidal sowie die Verwendung von 2 FiberTapes® (Fa. Arthrex) als Fadenmaterial anstelle von 5er FiberWire®-Fäden (Fa. Arthrex) im TR-Konstrukt. Neben der höheren Reißfestigkeit der Tapes wird bei dieser Technik der subkorakoidale Button, der eine größere Auflagefläche unter dem Korakoid bietet, retrograd durch das anteroinferiore Arthroskopieportal platziert, so dass dieser die singuläre CC-Bohrung nicht mehr passieren muss und die Bohrung somit im Durchmesser von

4,0 auf 2,4 mm reduziert werden konnte (**Abb. 6**). Zudem modifizierten und vereinfachten wir die Technik der AC-Augmentation (s. Technical Note mit OP-Video in Ausgabe 04/2019; [12, 23]). Bis inklusive 2018 haben wir mit dieser Technik 201 höhergradige akute ACG-Instabilitäten versorgt. Durch Verbesserungen der Implantate und eine Optimierung der Operationstechnik und steigende Erfahrung konnte die Operationsdauer für das DogBone®-Kollektiv auf  $54 \pm 17$  min reduziert werden (**Abb. 7**). Dies inkludiert die diagnostische Arthroskopie und Behandlung von glenohumeralen Begleitpathologien. Die Argumentation der Kritiker des arthroskopischen Vorgehens, die Operation sei technisch aufwendig und benötige unnötig lange und sei somit kostspielig, ist zumindest an einem spezialisierten Zentrum nicht haltbar.

## Ausblick

Die Implantate wurden kontinuierlich weiterentwickelt und die Operationstechnik optimiert. Zwischenzeitlich steht die 4. Implantatgeneration mit abgeflachtem klavikulären Profil und versenkbaren Knoten zur Verfügung, um klavikuläre Weichteilirritationen zu reduzieren. Zusätzlich kann die Reposition kontrollierter mittels Spanngerät erfolgen.

Es sind trotz jetzt mehr als 10-jähriger Erfahrung mit dem Verfahren noch viele Fragen offen und hochwertige prospektiv vergleichende Arbeiten sind ausstehend:

Sollten ein oder zwei Doppelbuttonsysteme zur CC-Stabilisierung verwendet werden? Wie ist der klinische Mehrwert einer zusätzlichen Horizontalcerclage? Ist eine initiale Überkorrektur bei dem zu erwartenden sekundären Repositionsverlust sinnvoll?

## Fazit für die Praxis

- Die Doppelbuttonfixierung mit sowohl einem wie auch zwei Implantaten ist ein sicheres, minimal-invasives Operationsverfahren mit sehr guten mittelfristigen Resultaten.
- Vorteil gegenüber den offenen Verfahren ist neben dem einzeiti-

## Übersicht

gen Vorgehen die Möglichkeit zur Identifikation und Behandlung von glenohumeralen Begleitpathologien.

- Die relevantesten Komplikationen sind: Repositionsverlust, „tunnel widening“, Klavikulafrakturen.
- Neben der vertikalen korakoklavikulären Augmentation ist eine zusätzliche horizontal stabilisierende akromioklavikuläre Cerclage/Fixierung empfehlenswert.

## Korrespondenzadresse



**Dr. Gunnar Jensen**

Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, BG Klinikum Hamburg im DIAKOVERE Friederikenstift Humboldtstraße 5, 30169 Hannover, Deutschland  
gunnar.jensen@diakovere.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** H. Lill ist als Berater sowie Referent für die Firma Arthrex sowie als Referent für die Firma DePuy Synthes tätig. A. Ellwein ist als Referent für die Firma Arthrex tätig. G. Jensen, R.-O. Dey Hazra und M. Hanhoff geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Übersichtsbeitrag enthält keine unveröffentlichten Daten aus Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

1. Bin Abd Razak HR, Yeo E-MN, Yeo W, Lie T-TD (2018) Short-term outcomes of arthroscopic TightRope® fixation are better than hook plate fixation in acute unstable acromioclavicular joint dislocations. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 28:869–875. <https://doi.org/10.1007/s00590-017-2095-5>
2. Allemann F, Halvachizadeh S, Waldburger M et al (2019) Different treatment strategies for acromioclavicular dislocation injuries: a nationwide survey on open/minimally invasive and arthroscopic concepts. *Eur J Med Res* 24:18. <https://doi.org/10.1186/s40001-019-0376-7>
3. Andreani L, Bonicoli E, Pardi P et al (2013) Acromioclavicular repair using two different techniques. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 24:237–242. <https://doi.org/10.1007/s00590-013-1186-1>
4. Arrigoni P, Brady PC, Zottarelli L et al (2014) Associated lesions requiring additional surgical treatment in grade 3 acromioclavicular joint dislocations. *Arthroscopy* 30:6–10. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.10.006>
5. De Baets T, Truijien J, Driesen R, Pittevels T (2004) The treatment of acromioclavicular joint dislocation Tossy grade III with a clavicle hook plate. *Acta Orthop Belg* 70:515–519
6. Balke M, Schneider MM, Shafizadeh S et al (2013) Current state of treatment of acute acromioclavicular joint injuries in Germany: is there a difference between specialists and non-specialists? A survey of German trauma and orthopaedic departments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2795-2>
7. Balke M, Schneider MM, Akoto R et al (2014) Die akute Schulterergelenkverletzung: Diagnostik Therapie und Entwicklung der letzten 10 Jahre. *Unfallchirurg* 117:1–7. <https://doi.org/10.1007/s00113-013-2547-2>
8. Beitzel K, Obopilwe E, Chowanick DM et al (2011) Biomechanical comparison of arthroscopic repairs for acromioclavicular joint instability: suture button systems without biological augmentation. *Am J Sport Med* 39:2218–2225. <https://doi.org/10.1177/0363546511416784>
9. Beitzel K, Cote MP, Apostolakis J et al (2013) Current concepts in the treatment of acromioclavicular joint dislocations. *Arthroscopy* 29:387–397. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2012.11.023>
10. Clavert P, Meyer A, Boyer P, Gastaud O, Barth J, Duparc F (2015) Complication rates and types of failure after arthroscopic acute acromioclavicular dislocation fixation. Prospective multicenter study of 116 cases. *Orthop Traumatol Surg Res* 101(8Suppl):S313–6. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2015.09.012>
11. Coale RM, Hollister SJ, Dines JS et al (2012) Anatomic considerations of transclavicular-transcoracoid drilling for coracoclavicular ligament reconstruction. *J Shoulder Elbow Surg*. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2011.12.008>
12. Dey Hazra R-O, Hahner F, Ellwein A et al (2019) Additive minimal-invasive Horizontalcerclage bei arthroskopischer Versorgung von akuten höhergradigen Akromioklavikulargelenkinstabilitäten. *Obere Extremität*. <https://doi.org/10.1007/s11678-019-00545-0>
13. Dyrna F, Imhoff FB, Haller B et al (2018) Primary stability of an acromioclavicular joint repair is affected by the type of additional reconstruction of the acromioclavicular capsule. *Am J Sports Med* 46:3471–3479. <https://doi.org/10.1177/0363546518807908>
14. Elser F, Chernchujit B, Ansah P, Imhoff B (2005) Eine neue minimal-invasive arthroskopische Technik zur Akromioklavikulargelenkrekonstruktion. *Unfallchirurg* 108:645–649. <https://doi.org/10.1007/s00113-005-0933-0>
15. Englert C, Kinner B (2013) Extraartikuläre Skapula- und Skapulafortsatzfrakturen. *Obere Extremität* 8:71–77
16. Di Francesco A, Zoccali C, Colafarina O et al (2012) The use of hook plate in type III and V acromioclavicular Rockwood dislocations: clinical and radiological midterm results and MRI evaluation in 42 patients. *Injury* 43:147–152. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.04.002>
17. Gowd AK, Liu JN, Cabarcas BC et al (2018a) Current concepts in the operative management of acromioclavicular dislocations: a systematic review and meta-analysis of operative techniques. *Am J Sports Med*. <https://doi.org/10.1177/0363546518795147>
18. Gowd AK, Liu JN, Cabarcas BC et al (2018b) Current concepts in the operative management of acromioclavicular dislocations: a systematic review and meta-analysis of operative techniques. *Am J Sports Med*. <https://doi.org/10.1177/0363546518795147>
19. Gstettner C, Tauber M, Hitzl W, Resch H (2008) Rockwood type III acromioclavicular dislocation: surgical versus conservative treatment. *J Shoulder Elbow Surg* 17:220–225. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2007.07.017>
20. Hann C, Kraus N, Minkus M et al (2018) Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:212–220. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4643-2>
21. Jensen G, Katthagen C, Al-Ibadi M et al (2014a) Glenohumerale Begleitpathologien bei operativ versorgten ACG-Luxationen: Häufigkeit und Ursache sowie Unterschiede nach Alter, Art und Schweregrad der Verletzung. 31. Jahreskongress der AGA, Innsbruck
22. Jensen G, Katthagen JC, Alvarado LE et al (2014b) Has the arthroscopically assisted reduction of acute AC joint separations with the double tight-rope technique advantages over the clavicular hook plate fixation? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22:422–430. <https://doi.org/10.1007/s00167-012-2270-5>
23. Jensen G, Ellwein A, Voigt C et al (2015) Doppel-Button-Fixierung mit minimalinvasiver akromioklavikulärer Cerclage: arthroskopisch-assistierte Versorgung der akuten Schulterergelenkinstabilität. *Unfallchirurg* 118:1056–1061. <https://doi.org/10.1007/s00113-015-0106-8>
24. Jensen G, Millett PJ, Tahal DS et al (2017) Concomitant glenohumeral pathologies associated with acute and chronic grade III and grade V acromioclavicular joint injuries. *Int Orthop* 41:1633–1640. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3469-3>
25. Jensen G, Ellwein A, Voigt C, Katthagen JC, Lill H (2015) Verletzungen des Akromioklavikulargelenks. Hakenplatte vs. Arthroskopie. *Unfallchirurg* 118:1041–1053. <https://doi.org/10.1007/s00113-015-0108-6>
26. Kienast B, Thietje R, Queitsch C et al (2011) Mid-term results after operative treatment of rockwood III–V acromioclavicular joint dislocations with an AC-hook-plate. *Eur J Med Res* 16:52–56
27. Klimkiewicz JJ, Williams GR, Sher JS et al (1999) The acromioclavicular capsule as a restraint to posterior translation of the clavicle: a biomechanical analysis. *J Shoulder Elbow Surg* 8:119–124
28. Koh KH, Shon MS, Choi NH, Lim TK (2018) Anatomic tunnel placement is not feasible by transclavicular-transcoracoid drilling technique for coracoclavicular reconstruction: a cadaveric study. *Arthroscopy* 34:2012–2017. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.01.028>
29. Korsten K, Gunning AC, Leenen LPH (2014) Operative or conservative treatment in patients with Rockwood type III acromioclavicular dislocation: A systematic review and update of current literature. *Int Orthop* 38:831–838. <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2143-7>
30. Koukakis A, Manouras A, Apostolou CD et al (2008) Results using the AO hook plate for dislocations of the acromioclavicular joint. *Expert Rev Med Devices* 5:567–572. <https://doi.org/10.1586/17434440.5.5.567>
31. Kraus N, Haas NP, Scheibel M, Gerhardt C (2013) Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations in a coracoclavicular Double-TightRope technique: V-shaped versus parallel drill hole orientation. *Arch Orthop Trauma Surg* 133:1431–1440. <https://doi.org/10.1007/s00402-013-1804-8>
32. Lin H-Y, Wong P-K, Ho W-P et al (2014) Clavicular hook plate may induce subacromial shoulder

- impingement and rotator cuff lesion—dynamic sonographic evaluation. *J Orthop Surg Res* 9:6. <https://doi.org/10.1186/1749-799X-9-6>
33. Martetschläger F, Saier T, Weigert A et al (2016) Effect of coracoid drilling for acromioclavicular joint reconstruction techniques on coracoid fracture risk: a biomechanical study. *Arthroscopy* 32:982–987. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2015.11.049>
  34. Mazzocca AD, Arciero RA, Bicos J (2007) Evaluation and treatment of acromioclavicular joint injuries. *Am J Sports Med* 35:316–329. <https://doi.org/10.1177/0363546506298022>
  35. Metzloff S, Rosslenbroich S, Forkel PH et al (2014) Surgical treatment of acute acromioclavicular joint dislocations: hook plate versus minimally invasive reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3294-9>
  36. Müller D, Reinig Y, Hoffmann R et al (2018) Return to sport after acute acromioclavicular stabilization: a randomized control of double-suture-button system versus clavicular hook plate compared to uninjured shoulder sport athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 26:3832–3847. <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5044-x>
  37. Patzer T, Clauss C, Kühne C et al (2013) Die arthroskopisch unterstützte Stabilisierung der akuten AC-Gelenksprengung. Vergleich der klinischen und radiologischen Ergebnisse der Single- vs. Double-TightRope™-Technik. *Unfallchirurg* 116:442–450
  38. Pauly S, Kraus N, Greiner S, Scheibel M (2012) Prevalence and pattern of glenohumeral injuries among acute high-grade acromioclavicular joint instabilities. *J Shoulder Elbow Surg*. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2012.08.016>
  39. Porschke F, Schnetzke M, Aytac S et al (2017) Sports activity after anatomic acromioclavicular joint stabilisation with flip-button technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25:1995–2003. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4287-7>
  40. Richards A, Potter D, Learmonth DTD (2005) Arthroscopic stabilisation of acute distal clavicle fractures and dislocations using the tightrope syndesmosis repair system. *Vor. bei Annu. Meet. Arthrosc. Assoc. North Am, Vancouver*
  41. Rolla PR, Surace MF, Murena L (2004) Arthroscopic treatment of acute acromioclavicular joint dislocation. *Arthroscopy* 20:662–668. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2004.03.012>
  42. Rosslenbroich SB, Schliemann B, Schneider KN et al (2015) Minimally invasive coracoclavicular ligament reconstruction with a flip-button technique (MINAR): clinical and radiological midterm results. *Am J Sports Med* 43:1751–1757. <https://doi.org/10.1177/0363546515579179>
  43. Saier T, Venjakob AJ, Minzlaff P et al (2014) Value of additional acromioclavicular cerclage for horizontal stability in complete acromioclavicular separation: a biomechanical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-2895-7>
  44. Salem KH, Schmelz A (2009) Treatment of Tossy III acromioclavicular joint injuries using hook plates and ligament suture. *J Orthop Trauma* 23:565–569. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181971b38>
  45. Salzmänn GM, Walz L, Buchmann S et al (2010) Arthroscopically assisted 2-bundle anatomical reduction of acute acromioclavicular joint separations. *Am J Sports Med* 38:1179–1187
  46. Salzmänn GM, Walz L, Schoettle PB, Imhoff AB (2008) Arthroscopic anatomical reconstruction of the acromioclavicular joint. *Acta Orthop Belg* 74:397–400
  47. Schär MO, Jenni S, Fessel G et al (2019) Biomechanical comparison of two biplanar and one monoplanar reconstruction techniques of the acromioclavicular joint. *Arch Orthop Trauma Surg* 139:779–786. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03137-3>
  48. Scheibel M, Dröschel S, Gerhardt C, Kraus N (2011) Arthroscopically assisted stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *Am J Sports Med* 39:1507–1516
  49. Schliemann B, Roßlenbroich SB, Schneider KN et al (2013) Why does minimally invasive coracoclavicular ligament reconstruction using a flip button repair technique fail? An analysis of risk factors and complications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-013-2737-z>
  50. Sim E, Schwarz N, Höcker K, Berzlanovich A (1995) Repair of complete acromioclavicular separations using the acromioclavicular-hook plate. *Clin Orthop Rel Res* 314:134–142
  51. Stein T, Müller D, Blank M et al (2018) Stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separation: a prospective assessment of the clavicular hook plate versus the double double-button suture procedure. *Am J Sports Med* 46:2725–2734. <https://doi.org/10.1177/0363546518788355>
  52. Thangaraju S, Cepni S, Magosch P et al (2019) Arthroscopically assisted acromioclavicular joint stabilization leads to significant clavicular tunnel widening in the early post-operative period. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05662-5>
  53. Thangaraju S, Tauber M, Habermeyer P, Martetschläger F (2019) Clavicle and coracoid process periprosthetic fractures as late post-operative complications in arthroscopically assisted acromioclavicular joint stabilization. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05482-7>
  54. Theopold J, Schöbel T, Fischer J-P et al (2019) Acromioclavicular joint reconstruction: an additional acromioclavicular cerclage does not improve horizontal stability in double coraco-clavicular tunnel technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05674-1>
  55. Venjakob AJ, Salzmänn GM, Gabel F et al (2013) Arthroscopically assisted 2-bundle anatomic reduction of acute acromioclavicular joint separations: 58-month findings. *Am J Sports Med* 41:615–621. <https://doi.org/10.1177/0363546512473438>
  56. Walz L, Salzmänn GM, Fabbro T et al (2008) The anatomic reconstruction of acromioclavicular joint dislocations using 2 TightRope devices: a biomechanical study. *Am J Sports Med* 36:2398–2406
  57. Wolf EM, Pennington WT (2001) Arthroscopic reconstruction for acromioclavicular joint dislocation. *Arthroscopy* 17:558–563. <https://doi.org/10.1053/jars.2001.23578>
  58. Xue C, Zhang M, Zheng T-S et al (2013) Clavicle and coracoid process drilling technique for truly anatomic coracoclavicular ligament reconstruction. *Injury* 44:1314–1320. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.06.022>