

Fakultät für Medizin



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie der Technischen Universität
München

**Sensomotorische Funktionsfähigkeit der oberen Extremität
nach schulterchirurgischen Eingriffen – eine klinisch-
experimentelle Studie**

Robin Köhler

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

Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Schlegel

Prüfende der Dissertation:

- 1.) Priv.-Doz. Dr. Knut Beitzel
- 2.) Priv.-Doz. Dr. Sebastian Siebenlist

Die Dissertation wurde am 22.08.2019 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 10.02.2020 angenommen.

Meinen Eltern in tiefer Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
1.1	Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit.....	8
2	Theoretische Grundlagen	11
2.1	Sensomotorik des Schultergelenks.....	11
2.2	Acromioclaviculargelenk.....	16
2.2.1	Acromioclaviculargelenkluxation	16
2.3	Schulterinstabilität	22
2.3.1	Anteriore Instabilität	24
2.4	Rotatorenmanschette	27
2.4.1	Rotatorenmanschettenläsion	29
3	Material und Methoden	33
3.1	Patientenkollektiv	33
3.1.1	Einteilung der Patientengruppen.....	34
3.1.2	Anamneseerhebung.....	35
3.1.3	Klinische Schulteruntersuchung.....	35
3.2	Klinische Scores.....	37
3.2.1	CONSTANT-Score.....	37
3.2.2	ASES-Score	38
3.2.3	Visuelle Analogskala	39
3.3	Analyse der Sensomotorik	39
3.3.1	Kraftmessplatte	40
3.3.2	Technischer Aufbau	41
3.3.3	COP-Messung	41
3.4	Statistische Verfahren	45
4	Ergebnisse	46
4.1	Ergebnisse der Kontrollgruppe.....	46
4.1.1	COP-Messung	46
4.2	Ergebnisse der Gruppe RM präop	47
4.2.1	Anamnese und Klinik	47
4.2.2	COP-Messung	48

4.3	Ergebnisse der Gruppe RM postoperativ	49
4.3.1	Anamnese und Klinik	49
4.3.2	Scores.....	51
4.3.3	COP-Messung	54
4.4	Ergebnisse der Gruppe ACG postoperativ	55
4.4.1	Anamnese und Klinik	55
4.4.2	Scores.....	56
4.4.3	COP-Messung	59
4.5	Ergebnisse der Gruppe Schulterstabilisation postoperativ	60
4.5.1	Anamnese und Klinik	60
4.5.2	Scores.....	62
4.5.3	COP-Messung	65
4.6	Ergebnisse der Gruppen im Vergleich	66
5	Diskussion.....	72
5.1	Material und Methode	72
5.2	Diskussion der Ergebnisse der Kontrollgruppe	77
5.3	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe RM präoperativ	78
5.4	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe RM postoperativ.....	81
5.5	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe ACG	85
5.6	Diskussion der Ergebnisse der Gruppe Schulterstabilisation.....	88
6	Zusammenfassung	93
7	Tabellenverzeichnis.....	95
8	Abbildungsverzeichnis.....	96
9	Literaturverzeichnis.....	98
10	Lebenslauf.....	117
11	Danksagung	119
12	Anhang	120

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ACG	Acromioclaviculargelenk
bspw.	beispielsweise
BWK	Brustwirbelkörper
bzgl.	bezüglich
COP	center of pressure
Do_open	dominante Schulterseite, Augen offen
Do_closed	dominante Schulterseite, Augen geschlossen
EMG	Elektromyografie
et al.	lat.: et alii (und andere)
ggf.	gegebenenfalls
IGHL	inferiores glenohumerales Ligament
ISP	M. infraspinatus
JPS	joint position sense
LBS	lange Bizepssehne (M. biceps brachii, Caput longum)
Lig.	Ligament
LWK	Lendenwirbelkörper
M.	Musculus
MHGL	mittleres glenohumerales Ligament
Mm.	Musculi
N.	Nervus
Non-op_open	nicht operierte Seite, Augen offen
Non-op_closed	nicht operierte Seite, Augen geschlossen
Non-do_open	nicht-dominante Seite, Augen offen
Non-do_closed	nicht-dominante Seite, Augen geschlossen
Op_open	operierte Seite, Augen offen
Op_closed	operierte Seite, Augen geschlossen
P	Punkte
postop	postoperativ
präop	präoperativ
RM	Rotatorenmanschette

RMR	Rotatorenmanschettenrupturen
S1	1. Sakralwirbel
sec	Sekunden
sog.	sogenannte
SSC	M. subscapularis
SSP	M. supraspinatus
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
VAS	Visuelle Analogskala
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentrales Nervensystem

1 Einleitung

Das Schultergelenk besitzt mit seinen sechs Freiheitsgraden den größten Bewegungsumfang aller Gelenke des menschlichen Körpers. Dies ist zurückzuführen auf die knöchernen Geometrie der Gelenkpartner, Mitbewegungen der beteiligten Nachbargelenke und dem stabilisierenden muskuloligamentären Weichteilapparat.

Eine optimal gesteuerte Gelenkfunktion wird sowohl für Tätigkeiten des täglichen Lebens, als auch für komplexere Bewegungsmuster im Sinne sportartspezifischer Aktivitäten benötigt (Suprak et al. 2006). Um in Bezug auf das große Bewegungsausmaß stets eine bestmögliche Zentrierung des Caput humeri in der Cavitas glenoidalis zu gewährleisten, braucht es ein hohes Maß an funktioneller Gelenkstabilität (Myers et al. 2000).

Diese Aufgabe übernimmt das sensomotorische System. Die Definition des Begriffes Sensomotorik umfasst sowohl alle sensorischen, motorischen Informations- u. Signalwege, als auch die dazugehörigen zentralen Integrationsprozesse. Ziel dieses komplexen Zusammenspiels ist die bewusste und unbewusste Aufrechterhaltung der Körperposition und die Steuerung von Körperbewegungen.

In der wissenschaftlichen Fachliteratur herrscht ein prinzipieller Konsens bezüglich des negativen Einflusses von Verletzungen des Schultergelenks auf die sensomotorische Stabilisierungsfunktion (Smith et al. 1989; Borsa et al. 1994; Safran et al. 2001; Myers et al. 2002; Zuckerman et al. 2003). Der Funktionsverlust führt im Verlauf zu weiteren Einschränkungen der dynamischen Gelenkstabilität und erhöht dadurch das Verletzungsrisiko (Tripp 2008).

Die Wiederherstellung dieses komplexen neuromuskulären Gleichgewichts bei Patienten mit Schulterdysfunktionen ist eine große Herausforderung der Orthopädie und Rehabilitation.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Ein Blick auf bisherige Arbeiten zur sensomotorischen Schulterfunktion offenbart eine insgesamt geringe Anzahl von Studien mit diversen Untersuchungsansätzen, unterschiedlichen Messmethoden und häufig uneinheitlicher Terminologie. So wird die Sensomotorik mit dem Begriff der Propriozeption oft fälschlicherweise gleichgesetzt (Gohlke et al. 1998). Auch Myers und Kollegen (1999) beklagen den oftmals inkorrekten Gebrauch von Überbegriffen wie Propriozeption, neuromuskuläre Kontrolle oder Sensomotorik.

Mehrere wissenschaftliche Arbeiten beschäftigten sich mit der Frage nach dem Zustand der propriozeptiven Fähigkeiten bei Patienten mit rezidivierender Schulterinstabilität (Aydin et al. 2001; Lephart et al. 1994, 2002; Pötzl et al. 2004; Sullivan et al. 2008; Wallace et al. 1997). Nur vereinzelt wurden sensomotorische Einflüsse im Hinblick auf andere, häufige Schulterentitäten untersucht, wie z.B. Impingement-Syndrome, Omarthrosen und Rotatorenmanschettenläsionen (Machner et al. 2003; Cuomo et al. 2005; Maenhout et al. 2012). Zudem widmeten sich die Untersucher fast ausschließlich der propriozeptiven Funktion (vereinfacht oft als „Tiefensensibilität“ bezeichnet). Es herrscht hierbei nach wie vor ein wissenschaftlicher Dissens in Bezug auf die adäquate Messmethodik (Fabis et al. 2016), des Weiteren stellt die Propriozeption lediglich eine Teilkomponente der Sensomotorik dar (Myers et al. 2006). Somit ist eine spezifische Beurteilung der globalen, sensomotorischen Funktionsfähigkeit dadurch nicht möglich (Han et al. 2016; Riemann et al. 2002).

Die meisten Untersuchungen hierzu erfassen Patienten nach entsprechender Verletzung. Über den Status nach operativer Intervention ist dahingehend recht wenig bekannt (Aydin et al. 2001). Zudem sind diesbezüglich teilweise unterschiedliche Ergebnisse mit gegensätzlichen Aussagen postoperativer Analysen zu finden (Lephart et al. 1994; Fremerey et al. 2005).

Um dem sensomotorischen Funktionsverlust nach Schulterverletzungen aus therapeutischer Sicht adäquat begegnen zu können, benötigt es detaillierteres Wissen über die prä- und postoperativen Ist-Zustände des sensomotorischen Systems. Beispielsweise ist nach wie vor ungeklärt, inwieweit die operative

Therapie in der Lage ist durch die Rekonstruktion betroffener Strukturen diese Defizite zu beheben.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bezüglich der sensomotorischen Funktion des Schultergelenks eine zum Teil noch unklare Datenlage herrscht. Umso wichtiger erscheint der weitere Informationsgewinn auf diesem Themengebiet.

Ziel der vorliegenden, klinisch-experimentellen Studie war es daher, im Rahmen einer Querschnittserhebung die klinischen Ergebnisse vor und nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion, nach operativer vorderer Schulterstabilisierung und Acromioklavikulargelenks-Rekonstruktion unter besonderer Berücksichtigung der sensomotorischen Kontrollfähigkeit zu untersuchen. Zudem wurde ein gesundes Kollektiv in die Erhebungen eingeschlossen und diente als Kontrollgruppe. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand dabei die stabilometrische Messung des „center of pressure“ (COP) mithilfe einer Kraftmessplatte. Diese sensomotorische Analyse misst in einer standardisierten Gleichgewichtsposition die Abweichungen vom COP, welche durch Ausbalancierung im Sinne der dynamischen Gelenkstabilisierung entstehen. Sie findet hinsichtlich der Messung der Haltungsstabilität und Balancefähigkeit seit Jahrzehnten Anwendung (Hufschmidt et al. 1980), doch bisher fast ausschließlich an der unteren Extremität (Friden et al. 1989; Prieto et al. 1996).

Edouard und seine Arbeitsgruppe (2012; 2014) übertrugen das Messverfahren erstmals auf die obere Extremität um die globale, sensomotorische Funktionsfähigkeit bei Patienten mit anteriorer Schulterinstabilität zu evaluieren. Gleichzeitig konnten sie dabei die praktische Durchführbarkeit und Reliabilität der Messmethodik veranschaulichen. Nicht untersucht wurde dabei, wie sich die sensomotorische Funktion nach stabilisierenden Eingriffen darstellt.

Generell existieren weder zum postoperativen Status, noch im Hinblick auf andere Schulterpathologien derartige COP-Erhebungen zur globalen, sensomotorischen Funktion. Dieser vielversprechende Ansatz wurde nun mit der vorliegenden Arbeit verfolgt.

Die zentrale Fragestellung war, ob asymptotische Patienten nach schulterchirurgischen Eingriffen eine verminderte Stabilisationsfähigkeit im Vergleich zur nicht betroffenen Seite sowie im Vergleich zu gesunden Probanden zeigen. Zusätzlich wurde das Augenmerk auch auf eine Patientengruppe gerichtet, die noch nicht operiert wurde. Hier stellte sich die Frage, ob Patienten, die noch nicht operativ therapiert wurden, demnach die größten sensomotorischen Defizite offenbaren.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Sensomotorik des Schultergelenks

Der Begriff der Sensomotorik beschreibt das Zusammenwirken der sensorischen und motorischen Systeme zur Steuerung und Kontrolle der Körperhaltung und der Körperbewegung (Luhmann 2010). Er umfasst sowohl alle sensorischen und motorischen Informationen als auch die dazugehörigen Verarbeitungsprozesse im zentralen Nervensystem (ZNS), die an der funktionellen Gelenkstabilisierung beteiligt sind (Riemann & Lephart 2002). Zum globalen, sensomotorischen System zählen die Komponenten der Propriozeption und der neuromuskulären Kontrolle inklusive der reflektorischen Feedback- und Feedforward-Aktivierungen.

Die Propriozeption („Tiefensensibilität“) bezeichnet den kontinuierlichen Zustrom an sensorischen Informationen aus dem Körperinneren in Richtung ZNS. Sie besteht aus den drei Submodalitäten des Stellungsinns, Bewegungsinns und Kraftsinns, die hauptsächlich über die Bahnen des Hinterstrangsystems weitergeleitet werden (Mense 2010).

Durch sie erhalten supraspinale Zentren Informationen über aktuelle Stellungen und Bewegungen der Gelenke im Raum, sowie über muskuläre Kraftzustände. Vermittelt werden diese Qualitäten durch Muskelspindeln, Golgi-Sehnenorgane und spezielle Mechanorezeptoren u.a. in Gelenkkapseln, Bandstrukturen, Faszien und Schleimbeuteln (Gohlke et al. 1998; Meßlinger 2010). Die Muskelspindeln werden über Dehnungen erregt und messen die Muskellänge und die Geschwindigkeit der Längenänderung. Die Golgi-Sehnenorgane befinden sich im Muskel-Sehnen-Übergang, werden sowohl durch Dehnung als auch durch Spannung aktiviert und dienen der Kraftmessung (Aumüller et al. 2010). Zu den speziellen Mechanorezeptoren im Gelenk- u. Kapsel-Band-Apparat zählen Ruffini-, Pacini-, Golgi-ähnliche und freie Nervenfasern (Gohlke et al. 1998; Wyke 1967). Sie leiten Sinnesempfindungen weiter, die durch Druck, Spannung, Vibration und Schmerz ausgelöst werden. Die Proprio- bzw. Mechanorezeptoren dienen somit höheren Koordinationszentren als

Informationsquelle zur Haltungs- und Bewegungssteuerung. Auf Rückenmarksebene werden hauptsächlich direkte und indirekte motorische Reflexmuster verschaltet, z.B. motorische Efferenzen im Sinne von Feedback-Aktivierungen nach Stimulation von Mechanorezeptoren in den gelenkumgebenden Weichteilstrukturen. Dagegen findet auf Hirnstammebene eine Verarbeitung der peripheren Afferenzen mit Informationen aus den visuellen und vestibulären Kerngebieten statt. Zusätzlich fungiert das Cerebellum als unterbewusste, motorische Kontrollinstanz, welche die ausgeführten Bewegungen fortlaufend abgleicht (Myers & Lephart 2000).

Die Stabilität des Schultergelenks wird durch ein komplexes Zusammenspiel statischer und dynamischer Stabilisatoren gewährleistet. Zu den statischen Stabilisatoren gehören die Konfiguration der knöchernen Gelenkpartner, das Labrum glenoidale, die Gelenkkapsel und die glenohumeralen Bänder (Jerosch et al. 1993). Während man zu den dynamischen Stabilisatoren die Muskulatur der Rotatorenmanschette (Mm. subscapularis, supraspinatus, infraspinatus und teres minor), den M. deltoideus, den M. biceps brachii und die scapulothorakale sowie die Rumpfmuskulatur zählt (Bigliani et al. 1996). Um die funktionelle Gelenkstabilität aufrecht zu erhalten, ist eine ständige Interaktion dieser statischen und dynamischen Stabilisatoren nötig. Dieses Zusammenwirken wird als neuromuskuläre Kontrolle bezeichnet (Myers & Lephart 2000). Eine Form der neuromuskulären Koordination sind bspw. kompressions- und damit stabilitätsfördernde Koaktivierungen der Schultergelenksmuskulatur (Wilk et al. 1993). Zusätzlich zu dieser synergistischen Muskelaktivität sorgt die gemeinsame Insertion der Rotatorenmanschette (RM) in der glenohumeralen Kapsel für eine dynamisierende Kapselspannung (Cain et al. 1987).

Ein weiterer Mechanismus der neuromuskulären Kontrollfähigkeit stellen voraktivierende, muskuläre Innervationsmuster dar, sogenannte Feedforward-Aktivierungen. Diese beeinflussen den muskulären Grundtonus, der als „stiffness“ (Steifigkeit) bezeichnet wird. Einerseits sorgen die kontraktile Elemente und die Kontraktionskraft eines Muskels für eine intrinsische Steifigkeit, andererseits existiert eine extrinsische Regulation dieser Grundspannung (Johansson 1991). Durch eine efferente γ -Motoneuron-Aktivierung kann über die peripheren Muskelspindelanteile eine Steigerung der

Dehnungsempfindlichkeit erfolgen und somit durch eine voraktivierende Reflexverschaltung die „stiffness“ erhöht werden. Eine erhöhte „stiffness“ schützt ein Gelenk bis zu einem gewissen Grad vor Überdehnung, erhöht die Spindelsensitivität und senkt die Latenzzeit reflektorischer, stabilisierender Muskelkontraktionen (Myers & Lephart 2000). Dies hat einen direkten, gelenksichernden Effekt zur Folge und stellt eine wichtige neuromuskuläre Kontrollfunktion dar (Apps et al. 2016; De Groot et al. 2017; Hogan 1984; Shadmehr & Arbib 1992). Muskuläre Voraktivierungen kommen außerdem bei der Ausführung bereits erlernter, zentral abgespeicherter Bewegungsprogramme sowie bei der Bewegungskorrektur zum Einsatz. Eine voraktivierte Muskulatur ist imstande Gelenkbelastungen abzumildern, Reaktionsphasen zu verkürzen und führt somit zu einer zusätzlichen, neuromuskulären Stabilisation (Dietz et al. 1981; Myers & Lephart 2000; Riemann & Lephart 2002).

Festzuhalten bleibt, dass einige der peripheren und zentralen Mechanismen der propriozeptiven und sensomotorischen Verschaltungsprozesse bis dato noch nicht im Detail verstanden sind (Han et al. 2016; Riemann & Lephart 2002).

Für die Messung der globalen, sensomotorischen Funktion ist keine standardisierte Messtechnik etabliert. Im Hinblick auf die verschiedenen Komponenten der Sensomotorik existieren diverse Testverfahren. Die Propriozeption wird anhand ihrer Submodalitäten erfasst. Die Kinästhesie (Bewegungssinn) wird durch das TTDPm-Verfahren („threshold to detection of passive motion“) untersucht. Hierbei wird das zu untersuchende Gelenk mit einer bestimmten Geschwindigkeit passiv bewegt und der Proband gebeten ein Signal zu geben, sobald er die Bewegung wahrnimmt. Bei der JPS-Messung („joint position sense“) hingegen wird der propriozeptive Stellungssinn gemessen, wobei der Proband dazu aufgefordert wird, veränderte Gelenkstellungen wahrzunehmen (Riemann et al. 2002).

Bei diesen Messtechniken gilt es, das visuelle und auditive System auszuschalten, um eine möglichst isolierte Empfindung der peripheren Afferenzen zu erreichen. Zur Durchführung existieren verschiedene und von den Forschungsabteilungen häufig selbst entwickelte Untersuchungsgeräte mit

z.B. isokinetischen oder (elektro-)goniometrischen Messsystemen (Myers & Lephart 2000).

Eine weitere Messtechnik stellt das AMEDA-Verfahren („active movement extent discrimination assessment“) dar. Hierbei wird der Bewegungs- u. Stellungssinn kombiniert und mithilfe einer vorgegebenen Bewegungsabfolge getestet (Naughton et al. 2002; Whiteley et al. 2008). Der Proband führt wiederholt vorgegebene Bewegungsmuster aus und beurteilt den Bewegungsumfang und die Distanz von Start- und Zielposition (Han et al. 2013).

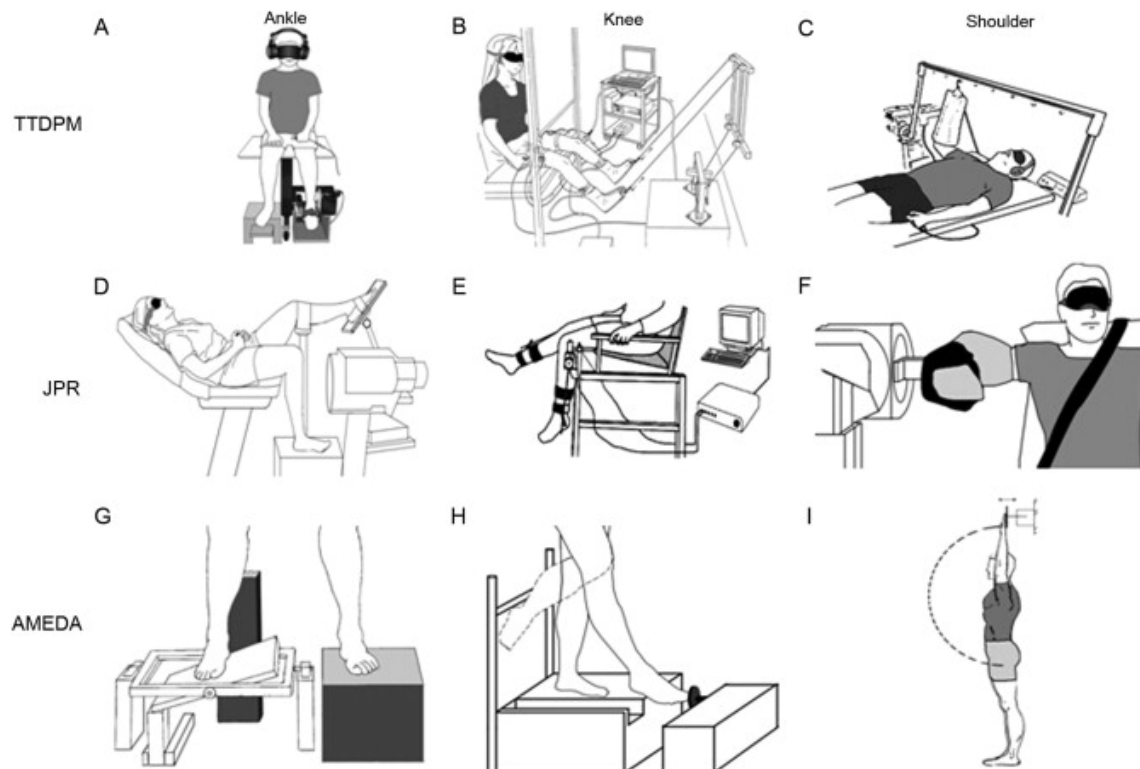


Abbildung 1: Auswahl an propriozeptiven Messmethoden (Han et al. 2016)

Zur Evaluation der efferenten, neuromuskulären Antwort im Rahmen der Sensomotorik stehen bspw. EMG-Messungen zur Verfügung (Myers & Lephart 2000). Ebenso sind Untersuchungen mit isokinetischen Messsystemen oder speziell entwickelten Funktionstests beschrieben (Heise 1995; Myers et al. 1999; Wooden et al. 1992).

Aufgrund der verschiedenen Teilkomponenten und Einflussfaktoren auf die sensomotorische Funktion weisen die Messtechniken eine große Vielfalt auf und unterscheiden sich hinsichtlich Anwendbarkeit und Testvalidität (Anderson & Wee 2011; Fabis et al. 2016; Han et al. 2016). Bisher hat sich kein Verfahren entscheidend durchsetzen können.

2.2 Acromioclaviculargelenk

Das Acromioclaviculargelenk (ACG) zählt zusammen mit dem Sternoclaviculargelenk (SCG) zu den beiden echten gelenkigen Verbindungen zwischen Schulter-Arm-Komplex und Rumpf (Tauber et al. 2017). Der mediale Anteil des Acromions und der laterale Rand der Clavicula bilden die mit hyalinem Knorpel überzogenen, knöchernen Gelenkpartner. In den überwiegenden Fällen verläuft der Gelenkspalt von kranio-lateral nach kaudomedial. Das Articulatio acromioclavicularis entspricht einem funktionellen Kugelgelenk und enthält einen zirka 0,5 cm breiten, fibro-kartilaginären Discus, der meist inkomplett ausgebildet ist (Schmidt & Vahlensieck 1996). Die Gelenkkapsel wird verstärkt durch das kräftige Lig. acromioclaviculare superior und ein schwächeres Lig. acromioclaviculare inferior (Jerosch 2000). Zusätzlich wird das ACG durch den coracoclaviculären Bandkomplex (bestehend aus dem Lig. trapezoideum und Lig. conoideum) vor allem in der Vertikalen stabilisiert. Die horizontale Stabilität wird hauptsächlich durch die ligamentär verstärkte anteriore und posteriore Gelenkkapsel und die Deltotrapezoidfaszie gewährleistet (Tauber et al. 2017). Sowohl das Acromion als auch die Clavicula dienen der Aponeurose des M. trapezius und des M. deltoideus als gemeinsame Insertion. Dies bewirkt eine zusätzliche Stabilisierung des Gelenks (Jerosch 2000).

Beide Schlüsselbeingelenke (SCG und ACG) sind außer bei geringen Initialbewegungen bei fast allen Arm- u. Schulterblattbewegungen mitbeteiligt, insbesondere bei Armhebungen und Rotationsbewegungen der Scapula (Tauber et al. 2017). Ergänzend zur Bewegungsfunktion kommt dem AC-Gelenk als Hauptaufgabe die gegenseitige Kraft- und Lastübertragung der oberen Extremität und des Rumpfes zu.

2.2.1 Acromioclaviculargelenkluxation

Neben meist degenerativ bedingten AC-Gelenkserkrankungen, stellt die Acromioclaviculargelenkluxation eine der häufigsten Krankheitsbilder des AC-

Gelenks dar. Insbesondere bei jungen Menschen ist dies ein häufiger Konsultationsgrund in der sportorthopädischen Schultersprechstunde. Junge Männer, die Kontakt- oder Hoch-Rasanz-Sportarten betreiben, sind hierbei signifikant häufiger betroffen (Pallis et al. 2012).

Bei der sogenannten Schulterreckgelenkssprengung kommt es zu einer Zerreißung der acromioclavikulären Kapselbandstrukturen. Ätiologisch sind diesbezüglich ausschließlich traumatische Ereignisse verantwortlich. Die hauptsächlichen Unfallmechanismen sind das direkte Anpralltrauma des Schultergelenks mit Scherkräften (Abb. 2 a) sowie das Sturzgeschehen auf den angewinkelten, abstützenden Arm mit axialer Kraftfortleitung (Abb. 2 b).

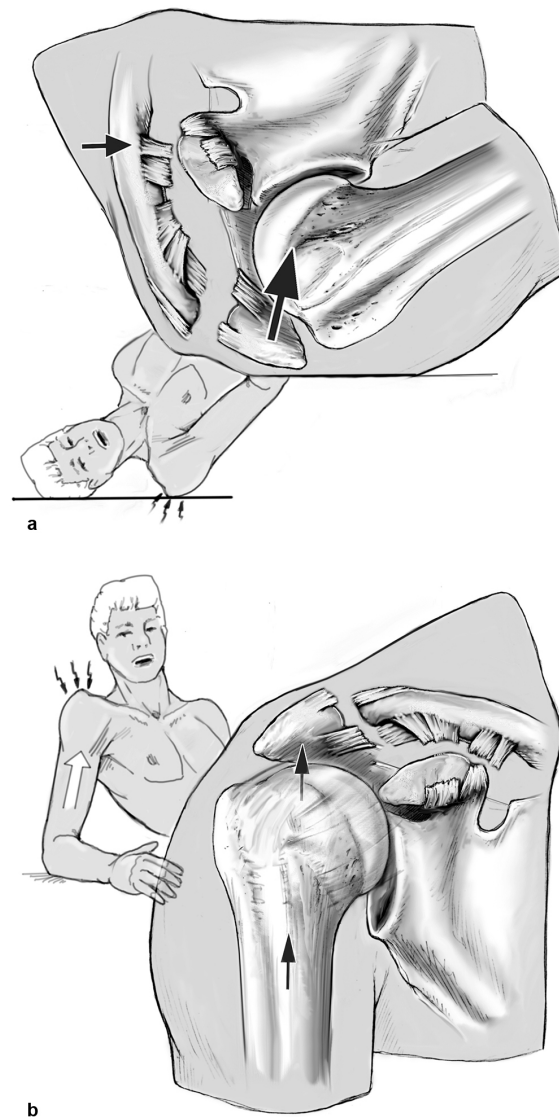
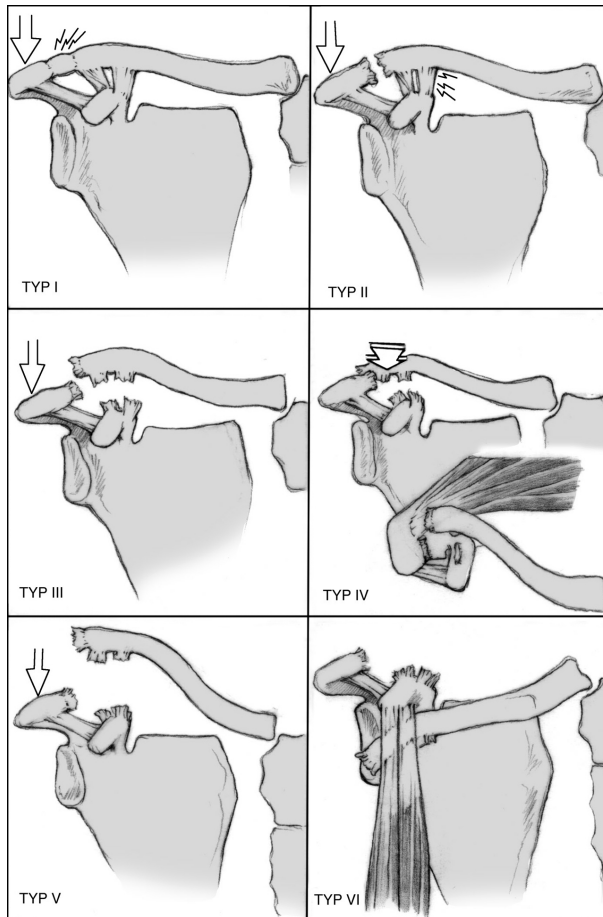


Abb. 2: Hauptverletzungsmechanismen ACG-Luxation (Tauber et al. 2017)

Klinisch zeigen die Patienten neben Schmerzen, eventuellen Prellmarken oder Abschürfungen meist eine eingeschränkte Bewegungsfähigkeit in Flexion und Abduktion mit einer Schonhaltung der betroffenen Schulter. Bei Verdacht auf ACG-Luxation wird das Augenmerk zu Beginn der klinischen Untersuchung auf inspektorische Auffälligkeiten wie Schwellungen oder Stufenbildungen gelegt. Durch Herabsenken des Schultergürtels kann ein relativer Hochstand der Clavicula sicht- und tastbar werden und sich dabei das sogenannte Klaviertastenphänomen bzw. eine federnde Clavicula zeigen (Imhoff et al. 2006). Radiologisch besteht die weitere Diagnostik aus der Röntgen-Aufnahme der Schulter in 3 Ebenen (true a.p., axial u. Alexander-Aufnahme) und gegebenenfalls der anschließenden beidseitigen Aufnahme unter Last (Irlenbusch et al. 2011).

Die ursprüngliche Einteilung der ACG-Luxationen nach Tossy (Tossy et al. 1963) beschränkt sich auf die radiologisch nachweisbare vertikale Verletzungskomponente sowie auf die pathologisch anatomische Grundlage (Jerosch 2000). Die mittlerweile gebräuchliche Klassifikation nach Rockwood berücksichtigt darüber hinaus auch die horizontalen Abweichungen sowie das Ausmaß verletzter Weichteilstrukturen (Rockwood 1984).



Typ I = Tossy I: Kapseldehnung, intakte coracoclaviculäre Bänder (CC-Bänder), keine Dislokation

Typ II = Tossy II: Kapselruptur, Überdehnung CC-Bänder, Subluxation um ca. halbe Clavicula-Breite

Typ III = Tossy III: Kapselruptur, Ruptur CC-Bänder, Luxation um eine Schaftbreite

Typ IV: Kapselruptur incl. Deltotrapezoidfaszie, Ruptur CC-Bänder, Claviculaluxation nach dorsal, hinter o. unter Acromion

Typ V: s. Typ IV, zusätzlich hochstehende Claviculaluxation u. horizontale Instabilität

Typ VI: s. Typ V, Besonderheit: Claviculaluxation unter Coracoid (selten)

nach Imhoff et al. (2006)

Abb. 3: Klassifikation der AC-Gelenksluxationen nach Rockwood (Tauber et al. 2017)

Im Akutfall stehen Ruhigstellung sowie lokale und systemische antiphlogistische Maßnahmen im Vordergrund. Konservativ zu behandeln sind die Verletzungen des Rockwood Typs I und II. Bei einer Läsion des Typs III kann eine operative Versorgung in Erwägung gezogen werden. Dies ist meist bei Patienten der Fall, die einen hohen sportlichen Anspruch haben bzw. bei aktiven Überkopfsportlern. ACG-Luxationen vom Typ IV, V und VI stellen eine klare OP-Indikation dar (Beitzel et al. 2013; Tauber 2013). Um eine primäre Heilung der ligamentären Strukturen zu gewährleisten, wird ein zeitnahes operatives Vorgehen empfohlen.

Zur Versorgung der AC-Gelenksluxation existiert eine Vielzahl an offenen und arthroskopischen Operationsverfahren. An offenen Verfahren werden z.B. transartikuläre Fixationen des ACG mit Kirschner-Drähten, Stabilisierungen mittels Hakenplatte oder resorbierbaren Polydioxanon(PDS)-Kordeln durchgeführt. Arthroskopische Techniken treten allerdings zunehmend in den Vordergrund und verdrängen dabei offene Verfahren. Hierbei sind

Rekonstruktionen mit Doppel-Buttons (z.B. TightRope® oder Dog Bone, Fa. Arthrex GmbH, München-Freiham) mittlerweile weit verbreitet. Diese speziellen Faden-Plättchen-Systeme funktionieren nach dem Flaschenzugprinzip, wodurch eine anatomische, coracoclaviculäre Fixation mithilfe eingezogener Titanplättchen und Fadenmaterial (z.B. FiberTapes®, Fa. Arthrex) erfolgen kann. Braun et al. (2015) weisen zudem zur besseren horizontalen Stabilität auf eine zusätzliche ACG-Cerclage z.B. mittels PDS-Kordel hin.

Bei chronischen ACG-Instabilitäten und verstrichener ligamentärer Heilungsphase wird eine Augmentation mittels autologem oder allogenen Sehnen-Transplantat (z.B. Gracilis- oder Semitendinosus-Sehne) empfohlen (Tauber et al. 2017).



Abb. 4: ACG-Rekonstruktion mittels Doppel-TightRope®-Stabilisierung (Tauber et al. 2017)

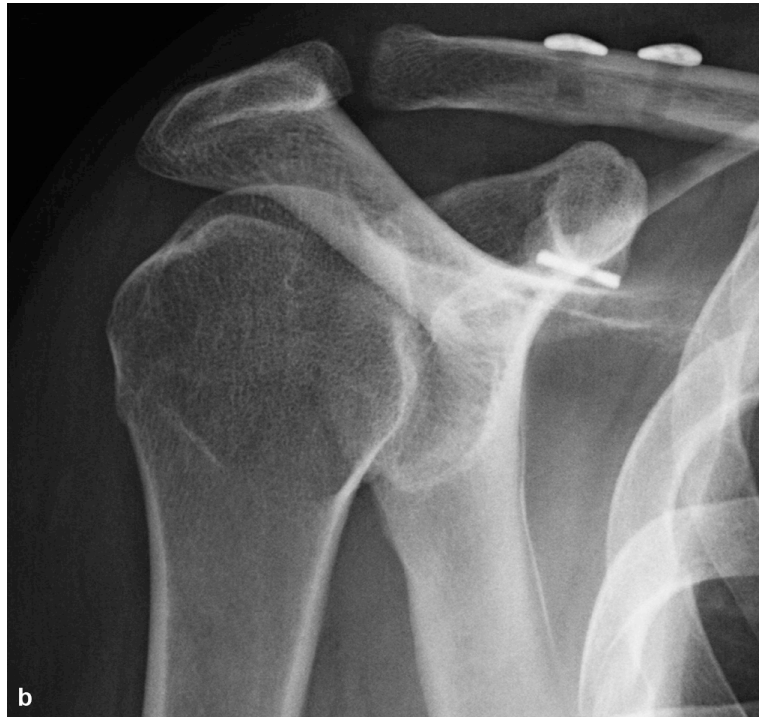


Abb. 5: Y-View-Aufnahme Doppel-TightRope®-Stabilisierung (Tauber et al. 2017)

2.3 Schulterinstabilität

Die Instabilität des Schultergelenks beschreibt den Zustand einer Dezentrierung des Caput humeri in der Fossa glenoidalis. Der Patient ist nicht (mehr) in der Lage das Gelenk ausreichend zu stabilisieren und entwickelt hieraus ein Beschwerdebild unterschiedlichen Ausmaßes. Epidemiologisch sind Männer dreimal häufiger betroffen und der Altersgipfel liegt im Bereich des 15.-30. Lebensjahrs, wobei die Inzidenz mit steigendem Alter deutlich abnimmt (Imhoff et al. 2006). Neben der muskulären Gegenspannung unter Provokation („Apprehension“) und der Subluxation (inkomplett) stellt die Maximalform der Schulterinstabilität die Luxation („Auskugelung“) dar. Diese ist durch einen kompletten Kontaktverlust der knöchernen Gelenkpartner charakterisiert und bedarf einer möglichst zeitnahen Reposition. 95% der Schulterluxationen sind unidirektional und nach antero-inferior gerichtet, die restlichen 5% verteilen sich auf posteriore und multidirektionale Formen (Habermeyer et al. 2004).

Da die Kapsel insbesondere in mittleren Gelenkstellungen eine relativ geringe Spannung aufweist, sind spezielle Mechanismen zur Stabilisationsfähigkeit des Schultergelenks nötig. Dies wird durch ein multimodales System aus statischen und dynamischen Stabilisatoren sichergestellt (siehe auch Kapitel 2.1). Zu den passiv-statischen Strukturen zählt der Kapsel-Band-Apparat, das Labrum glenoidale und die knöchernen Geometrie der Gelenkpartner (Wilk et al. 1997). Die aktiven dynamischen Stabilisatoren umfassen hauptsächlich das muskuläre Gleichgewicht durch die Rotatorenmanschette (RM), die scapulothorakale Muskulatur, den M. biceps brachii und den M. deltoideus (Labriola et al. 2005). Darüber hinaus erhöht das Labrum und die strukturelle Knorpelanordnung der Gelenkpfanne die Kavität der Fossa glenoidalis und alle Kräfte, die den Humeruskopf in Richtung Pfanne drücken, sorgen für eine zentrierende Kompression (Wiedemann 2017). Habermeyer et al. (1992) konnten zudem einen durch äußere Krafteinwirkung entstehenden Unterdruck im Glenohumeralgelenk nachweisen, der im Sinne eines Vakuumeffekts eine stabilisierende Komponente darstellt. Ebenso trägt die Gelenkflüssigkeit über Adhäsions- und Kohäsionseffekte der Gelenkpartner zur aktiven Stabilisierung bei (Wilk et al. 1997).

Es existieren diverse Klassifikationssysteme von verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Schwerpunkten. Grundsätzlich werden die Schulterinstabilitäten nach Grad (Apprehension, Subluxation, Luxation), Richtung (uni-, bi-, multidirektional), Dauer (kongenital, akut, chronisch), Form (unwillkürlich und/oder willkürlich) und Pathogenese (atraumatisch-habituell, primär- oder posttraumatisch, mikrotraumatisch) eingeteilt (Wiedemann 2017). Die Klinik des Patienten reicht in Abhängigkeit der Ätiopathogenese von Schmerzen, Instabilitätsgefühl und Angst vor Reluxation bis hin zur posttraumatischen Schultersteife (Imhoff et al. 2006).

Diagnostisch entscheidend ist neben der genauen Anamnese die körperliche Untersuchung mithilfe spezieller Instabilitätstests (s. Kapitel 3.2.2). Radiologisch kommt das Nativ-Röntgen in 3 Ebenen (a.p., Y-view und axial) und ggf. eine CT- oder MRT-Bildgebung zur Beurteilung der Instabilitäts- bzw. Luxationsrichtung sowie begleitender Schäden an Knochen- und Weichteilstrukturen zum Einsatz.

Die Akutbehandlung der Schulterluxation besteht in der zeitnahen Reposition mit vorheriger Anamnese, klinischer Untersuchung, Dokumentation von Durchblutung und Sensibilität sowie einer Röntgenaufnahme, um eine Fraktur auszuschließen. Anschließend folgen eine Kontroll-Bildgebung, die Ruhigstellung der Schulter und die Evaluation des weiteren Procederes.

Die Wahl der Therapie ist insbesondere abhängig von der Art der Instabilität, vom Patientenalter sowie dem Aktivitätslevel des Patienten. Ein primär konservativer Therapieansatz ist bei traumatischer Erstluxation ohne knöcherner Verletzung beim Patienten über 30, bei atraumatischen habituellen Schulterluxationen und bei multidirektionalen Instabilitäten mit konstitutioneller Hyperlaxität zu verfolgen (Wiedemann 2017). Erst bei Versagen des konservativen Therapieregimes, einem hohen Leidensdruck oder Beeinträchtigungen im Alltag sind diese Patienten einer operativen Stabilisierung zuzuführen (Irlenbusch 2011). Da mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit einer Reluxation sinkt, gilt es das Patientenalter in die Therapieentscheidung mit einzubeziehen (Mau et al. 2017). So kann bei älteren Patienten nach traumatischer Schulterluxation in Abhängigkeit möglicher Begleitverletzungen ein konservativer Therapieversuch erfolgen, wohingegen beim jungen Patienten aufgrund der hohen Rezidivquote (94% <20J., 79% 21-

30J.; Rowe 1980) die Operation die Methode der Wahl darstellt (Lichtenberg 2017; Siebold et al. 2003). Folglich stellen primär-traumatische Schulterluxationen im jungen Patientenalter und posttraumatische rezidivierende Instabilitäten mit der hohen Gefahr von Folgeschäden absolute OP-Indikationen dar.

Es existieren eine Vielzahl an operativen Methoden zur Schulterstabilisation, die offene sowie minimal-invasive, arthroskopische Verfahren umfassen. Das offene Stabilisierungsverfahren nach Bankart (1923) wird teilweise noch als Goldstandard geführt (Lichtenberg 2017). In den vergangenen 20 Jahren gewann jedoch das arthroskopische Vorgehen durch neue Erkenntnisse u.a. hinsichtlich der Pathophysiologie und der technischen Fixationsoptionen zunehmend an Bedeutung (Gartsman et al. 2000). Heutzutage können aufgrund der Weiterentwicklung von Operationsmethoden, der Instrumente und Ankersysteme immer mehr Schulterinstabilitäten mittels arthroskopischer Technik versorgt werden.

2.3.1 Anteriore Instabilität

Bei einer traumatischen vorderen Schulterluxation kommt es beim jungen Patienten in den meisten Fällen zu einem Abriss des Kapsel-Labrum-Komplexes am vorderen unteren Pfannenrand. Dieses als „klassische“ Bankart-Läsion bezeichnete Verletzungsmuster führt neben der Aufhebung des artikulären Vakuumeffekts zu einem Verlust an korrespondierender Kontaktfläche sowie stabilitätssichernder Kavität, was schließlich die Manifestation der vorderen Instabilität bedingt (Lazarus et al. 1996).

Neben der Abscherung des Labrums kommt es häufig zu Begleitverletzungen der Kapsel und glenohumeralen Bänder, was eine gezielte Exploration erfordert und in Bezug auf die therapeutische Strategie berücksichtigt werden muss.

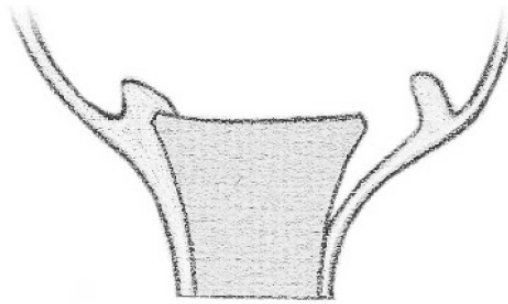


Abb. 6: „Klassische“ Bankart-Läsion (Wiedemann 2017)

Eine weitere mögliche knöcherne Begleitverletzung stellt die Hill-Sachs-Läsion dar. Sie entsteht durch die humerale Impression am Pfannenrand und ist bei der vorderen Schulterluxation typischerweise am dorsokranialen Humeruskopf lokalisiert („loco typico“). Zudem können aufgrund der traumatischen Krafteinwirkung Frakturen des Tuberculum majus und Knorpelschäden sowohl in der Fossa glenoidalis als auch am Caput humeri auftreten.

Hinsichtlich der Weichteilverletzungen sind neben dem Kapsel-Labrum-Komplex insbesondere im höheren Alter nicht selten Teile der Rotatorenmanschette beteiligt.

In Bezug auf die operative Therapie bei traumatischer Schulterinstabilität steht die offene und arthroskopische Stabilisierung zur Auswahl. Die arthroskopische Operationsmethode zeigt vergleichbare Ergebnisse gegenüber der offenen Stabilisierung im Hinblick auf Reluxationsraten, klinische Scores und die Rückkehr zur gewohnten sportlichen Aktivität (Harris et al. 2013). Aufgrund der geringeren Morbidität, der Möglichkeit der Mitversorgung von Begleitverletzungen und einer in der Regel schnelleren Rehabilitation gilt das arthroskopische Vorgehen mittlerweile als Therapiemethode der ersten Wahl. Es erfolgt die anatomische Rekonstruktion des Kapsel-Labrum-Komplexes mittels spezieller Fadenankersysteme (z.B. FASTak© o. BioPushLock©, Fa. Arthrex, München-Freiham). Liegt eine rezidivierende Instabilität vor, findet regelhaft ein ergänzender Kapselshift statt.

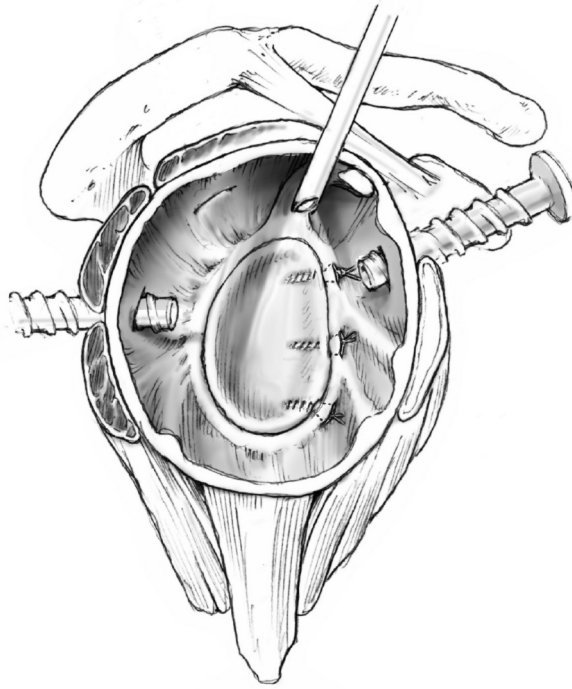


Abb. 7: Abschlusssitus nach Einbringung der Nahtanker (Lichtenberg 2017)

Tritt zusätzlich ein glenoidaler Knochendefekt auf, kommen spezielle Verfahren mit knöcherner Augmentation zum Einsatz. An knochenaufbauenden Verfahren haben sich der Korakoidtransfer oder der Glenoidaufbau durch Knochenspan vom Beckenkamm etabliert, die offen oder ebenfalls arthroskopisch durchgeführt werden können (Lichtenberg 2017).

Bei ausgeprägten knöchernen Begleittläsionen wie z.B. großen Hill-Sachs-Läsionen oder Glenoiddefekte mit $>25\%$ der betroffenen Fläche ist die reine arthroskopische Stabilisierung nicht geeignet und eine Erweiterung des operativen Eingriffs obligat (Paul et al. 2009).

2.4 Rotatorenmanschette

Die Rotatorenmanschette besteht aus den Sehnen der Mm. subscapularis, supraspinatus, infraspinatus und teres minor. Aufgrund ihrer Lage zur Drehachse des Gelenks umschließen die jeweiligen Sehnen den Humeruskopf manschettenartig und haben darüber hinaus entscheidenden Einfluss auf die Bewegungsfähigkeit des Glenohumeralgelenks. Der M. supraspinatus (SSP), der durch den Subakromialraum verläuft und hauptsächlich die frühe Abduktionsbewegung ausführt, inseriert am Tuberculum majus. Ebenso finden die als Außenrotatoren dorsal der Drehachse gelegenen Mm. infraspinatus (ISP) et teres minor (TM) hier ihren Ansatz. Der ventral gelegene M. subscapularis (SSC), der der vorderen Scapulafläche entspringt und als Innenrotator fungiert, zählt zum anterioren Anteil der RM und inseriert am Tuberculum minus.

Rein durch ihren anatomischen Verlauf beteiligt sich die RM passiv stabilisierend am Formschluss der Gelenkpartner.

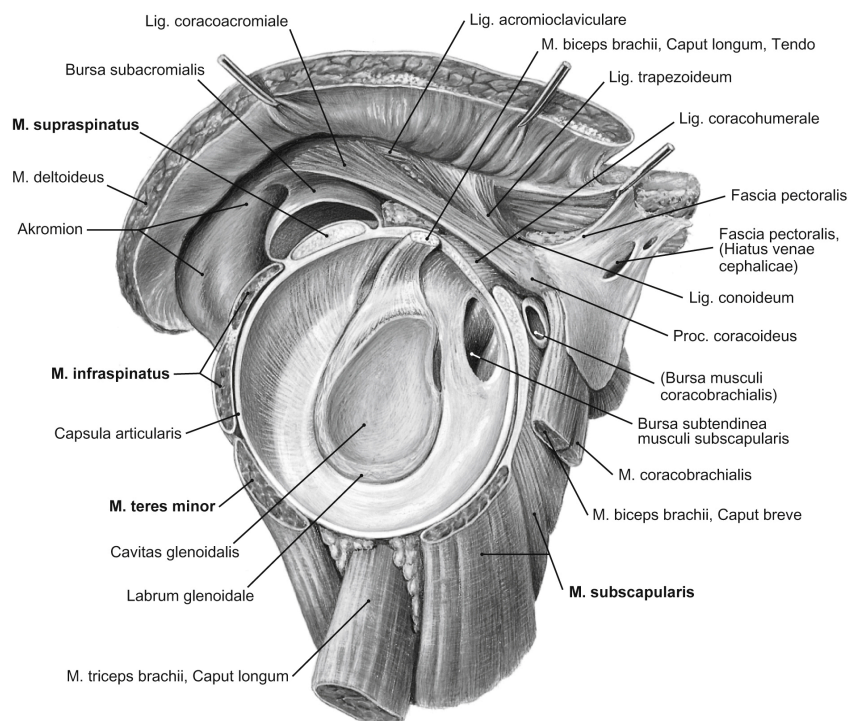


Abb. 8: Darstellung der Schultergelenksanatomie, hervorgehoben die Ansätze der Rotatorenmanschette, Ansicht von lateral (Irlenbusch 2011)

Durch den muskulären Tonus trägt die RM zur stabilisierenden Gelenksteifigkeit bei und dient darüber hinaus als Belastungsaufnehmer von anterioren und posterioren Scherkräften (Ainsworth & Lewis 2007; Debski et al. 1999).

Neben der passiven Stützfunktion spielt sie als dynamischer Stabilisator eine ausgesprochen wichtige Rolle. Sie kaudalisiert und zentriert bei Abduktions- und Elevationsbewegungen im Zusammenspiel mit dem M. deltoideus den Humeruskopf im Glenoid (Adams et al. 2016). Wirken in diesem intermuskulären Gleichgewicht störende Einflüsse, resultiert dies in einem Missverhältnis der Kraftentwicklung und führt zu einem glenohumeralen Stabilitätsdefizit (Liem & Scheibel 2017). In der koronaren und transversalen Ebene bilden die muskulären Anteile der RM sogenannte Kraftpaare („force couple“) (Inman et al. 1944), die im Sinne einer Kokontraktion in den jeweiligen Gelenkwinkeln eine in Richtung des Zentrums der Gelenkpfanne gerichtete stabilisierende Kompressionswirkung auf den Humeruskopf ausüben (Wilk et al. 1997).

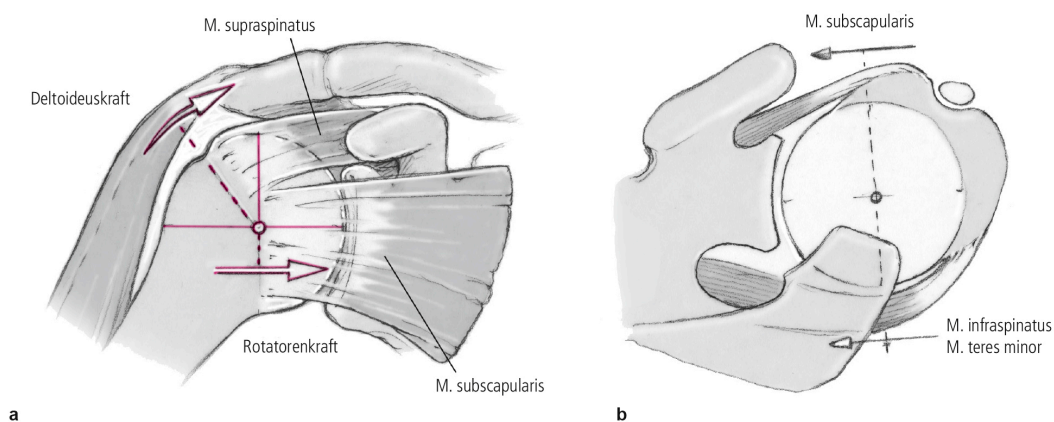


Abb. 9: Zentrierende koronare (a) und transversale (b) Kraftvektoren der RM (Liem & Scheibel 2017)

Des Weiteren fusionieren die Sehnenportionen der RM mit der glenohumeralen Gelenkkapsel (Clark et al. 1992). Durch die gemeinsame Insertion sind sie in der Lage die Kapsel zu verstärken und aktiv zu dynamisieren (Adams et al. 2016).

2.4.1 Rotatorenmanschettenläsion

Rotatorenmanschettenrupturen (RMR) gehören zu den häufigsten Schulterpathologien (Schneiders et al. 2008). Ihnen wird heutzutage eine altersabhängige multifaktorielle Genese zugeschrieben. Häufige Ursachen stellen degenerative Veränderungen und mikrotraumatische Vorschädigungen dar (Hashimoto et al. 2003). Des Weiteren können Verknöcherungen an der Unterseite des Akromions sowie Veränderungen der peripheren Durchblutung (z.B. durch Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes oder Rauchen) die Entwicklung von RM-Defekten begünstigen (Imhoff 2017).

Grundsätzlich steigt die Prävalenz der RMR mit dem Alter der Patienten (Yamamoto et al. 2010). Tempelhof und Kollegen (1999) fanden bspw. bei zirka jedem dritten Patienten über 70 Jahren (Partial-) Rupturen der RM und Yamaguchi et al. (2006) konnten eine 35-prozentige Wahrscheinlichkeit für einen vorliegenden, bisher unbemerkten Schaden auf der Gegenseite zeigen. Man unterscheidet die traumatische von der degenerativen Ätiologie, wobei eine Trennung nicht immer klar vollzogen werden kann. So können sich z.B. im Zuge eines traumatischen Ereignisses durch Vorschädigung bereits bestehende Defekte vergrößern und sich somit erst klinisch manifestieren (acute on chronic) (Schneiders et al. 2008).

Traumatische Läsionen treten seltener auf und betreffen tendenziell eher den jüngeren Patienten. Hierbei kommt neben einer Schulter(sub)luxation, die forcierte Innen- u. Außenrotation, eine passive Traktion sowie eine axiale Stauchung als Verletzungsmechanismus in Betracht (Loew et al. 2000).

Isolierte Rupturen des M. subscapularis sind hauptsächlich traumatisch bedingt (Gerber & Krushell 1991). In ca. 50% der Fälle treten SSC-Rupturen in Kombination mit SSP-Rupturen auf (Stäbler 2017). Bei Verletzungen des Rotatoren-Intervallbereichs zwischen SSP und SSC kommt es zur Schädigung des sog. Pulleysystems, welches die LBS intraartikulär stabilisiert (Loew & Habermeyer 2017).

Die Schmerzsymptomatik zeigt sich häufig im ventralen Schulterbereich mit Ausstrahlung in das Ansatzgebiet des M. deltoideus und zusätzlich klagt der Patient nicht selten über Nachtschmerzen, insbesondere beim Liegen auf der

betroffenen Seite. Bei einer akuten Ruptur kann sich primär klinisch außerdem eine Pseudoparalyse zeigen.

Bei länger bestehenden Rupturen können muskuläre Atrophien sichtbar werden, außerdem kann es zu einer Kranialisierung des Humerus kommen. Darüber hinaus ist die Entwicklung großer Defekte möglich, die bei spätem Symptombeginn die operative Rekonstruktion schwierig gestalten.

Für die Einteilung der Rotatorenmanschettenrupturen existieren diverse Klassifikationen. Für die korrekte Indikationsstellung und Therapieplanung ist eine Einteilung nach der Lokalisation und der Ausdehnung ein entscheidendes Kriterium. Grundsätzlich werden partielle von kompletten Rupturen unterschieden. Bei der Klassifizierung von kompletten Läsionen ist vor allen Dingen die Rupturgröße von Bedeutung, die erstmals von Bateman (1963) eingeteilt wurde. Die neuere Klassifikation nach Patte (1990) erlaubt eine präzisere Einteilung hinsichtlich genauer Lokalisation u. Ausdehnung (Loew & Habermeyer 2017):

Grad I: Sehnenstumpf zwischen Tuberculum majus und Apex

Grad II: Sehnenstumpf zwischen Apex und Glenoidrand

Grad III: Sehnenstumpf hinter Glenoidrand

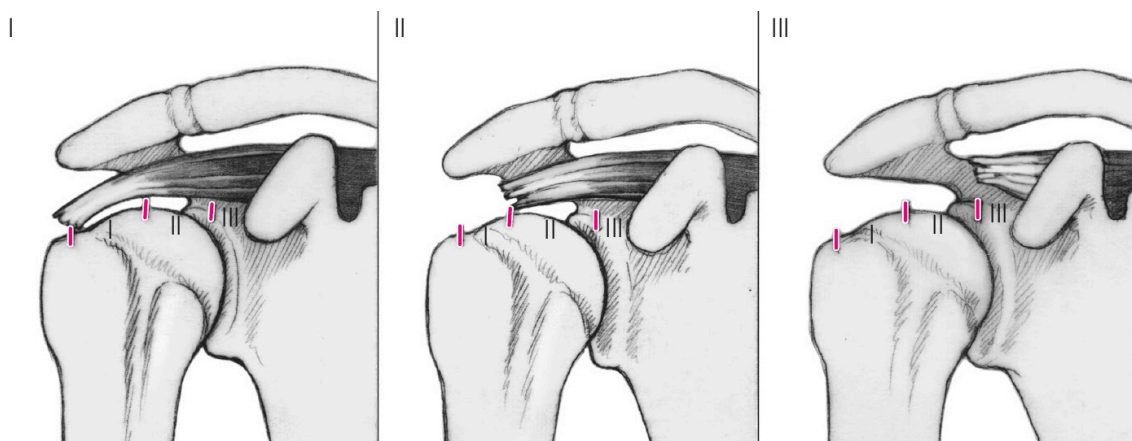


Abb. 10: Einteilung der Sehnenretraktion nach Patte (Loew & Habermeyer 2017)

Rupturen der Subscapularissehne können nach der Klassifikation von Fox & Romeo (2003) eingeteilt werden. Der Typ I bezeichnet eine Partiaalläsion, der Typ II eine komplette Läsion der oberen 25%. Bei einer Typ III- Läsion sind bis

Bei Pathologien der LBS wird eine Tenotomie oder Tenodese mit Resektion des pathologisch veränderten Anteils durchgeführt (Liem & Scheibel 2017).

Für nicht rekonstruierbare Defekte der RM mit ausgeprägten Funktionseinschränkungen kommen operative Verfahren mit lokalen Muskel-Sehnen-Transfers (z.B. Latissimus dorsi-Transfer bei SSP- u. oberer ISP-Ruptur; Pectoralis major-Transfer bei isolierter SSC-Ruptur) zum Einsatz (Mau et al. 2017).

Das postoperative Ergebnis nach RM-Rekonstruktion ist grundsätzlich abhängig vom Patientenalter, der Rupturgröße und der Sehnenqualität (Ainsworth & Lewis 2007, Irlenbusch 2011, Thomazeau et al. 2000).

3 Material und Methoden

Ein positives Votum der Ethikkommission wurde vor Beginn dieser klinisch-experimentellen Studie eingeholt.

3.1 Patientenkollektiv

Das Studienkollektiv setzte sich aus Patienten zusammen, bei denen in der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie im Klinikum Rechts der Isar die Indikation zur operativen RM-, ACG- oder Schulterstabilisationsrekonstruktion gestellt wurde sowie einem Kollektiv gesunder Patienten.

Jeder Untersuchung und Messung ging ein ausführliches Aufklärungsgespräch mit der Einwilligung des Patienten und entsprechender Dokumentation voraus.

Im Folgenden sind die allgemeinen und speziellen Einschluss- und Ausschlusskriterien in Bezug auf die Auswahl der Studienteilnehmer dargestellt:

Ein- und Ausschlusskriterien des Untersuchungskollektivs:

Allgemeine Einschlusskriterien:

Indikation zur operativen RM-, ACG-Rekonstruktion oder Schulterstabilisierung in der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie im Klinikum Rechts der Isar; präoperative MRT-Bildgebung; Bereitschaft zur freiwilligen Studienteilnahme; schmerzfrei ausführbare Messuntersuchung; Alter der Studienteilnehmer zwischen dem 18. und 80. Lebensjahr

Spezielle Einschlusskriterien:

Gruppe ACG: operative ACG-Stabilisierung nach Verletzungen des Rockwood Typs IV und V

Gruppe Schulterinstabilität: operative anteriore Stabilisierung nach traumatischer Erstluxation; posttraumatisch rezidivierende anteriore Schulterinstabilität, atraumatisch habituelle anteriore Schulterinstabilität nach Versagen konservativer Therapie

Gruppe RM präop/postop: isolierte oder kombinierte, akute oder chronische RM-Läsionen mit operativer Therapieindikation oder nach Versagen konservativer Therapie; sonographische Schulteruntersuchung zur Sicherung der Intaktheit der RM bei der Gruppe RM postop

Kontrollgruppe: gesunde, aktive Probanden ohne physische und psychische Einschränkungen mit der Bereitschaft zur freiwilligen Studienteilnahme

Allgemeine Ausschlusskriterien:

Jegliche die Untersuchung einschränkende Schmerzsymptomatik beider Hand-, Ellenbogen- und Schultergelenke; Voroperationen des ipsilateralen und kontralateralen Hand-, Ellenbogen- und Schultergelenks; Schmerzen und Funktionsstörungen im Bereich der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule; rheumatologische und autoimmune Erkrankungen; dementielle Erkrankungen und kognitive Beeinträchtigungen; psychogene Störungen; neurologische Krankheitsbilder (Muskelkrankungen, Multiple Sklerose, Epilepsie, Apoplex und periphere Neuropathien)

Spezielle Ausschlusskriterien:

Gruppe ACG: Rockwood I-III, VI; Begleitfrakturen des Glenohumeralgelenks, des Coracoids sowie der Clavicula

Gruppe Schulterinstabilität: begleitende Rotatorenmanschettenläsionen; Nervenschäden sowie multidirektionale Instabilitäten; willkürliche Schulterluxation

Gruppe RM präop/postop: ausgedehnte Massenrupturen mit autologem Muskel-Sehnen-Transfer

Kontrollgruppe: aktiv betriebener Hochleistungssport

3.1.1 Einteilung der Patientengruppen

Die Einteilung der Patientengruppen erfolgte anhand der Voruntersuchungsberichte beziehungsweise zusätzlich bei bereits operierten Patienten anhand der Operationsberichte.

40 Patienten (10 Frauen, 30 Männer, Durchschnittsalter: $45,5 \pm 15,7$ Jahre) und eine 10 Teilnehmer umfassende gesunde Kontrollgruppe (1) (3 Frauen, 7 Männer, Durchschnittsalter: $47,0 \pm 21,0$ Jahre) wurden eingeschlossen. Die 4 Patientengruppen der Rotatorenmanschettenläsion präoperativ (2) und postoperativ (3), AC-Gelenkrekonstruktion (4) und anterior-inferioren Schulterstabilisation (5) umfassten je 10 Patienten.

3.1.2 Anamneseerhebung

Alle Patienten der Studie stellten sich in der Ambulanz der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie des Klinikums Rechts der Isar vor. Vor der klinischen Untersuchung der Schulter wurde eine strukturierte Anamnese erhoben. Bedeutend sind hier insbesondere Fragen zur Schmerzcharakteristik sowie zusätzlich Fragen zur Evaluation eines genauen Verletzungsmechanismus (Magosch et al. 2013).

3.1.3 Klinische Schulteruntersuchung

Nach einer ausführlichen Anamneseerhebung erfolgte eine klinische Untersuchung, die nach Inspektion und Palpation sowohl die Testung der Beweglichkeit als auch spezielle Funktions- und Provokationstests des betroffenen Schultergelenks im Seitenvergleich umfasste.

Das physiologische Bewegungsausmaß der Schulter ergibt für die Anteversion/Retroversion $170-0-40^\circ$, Abduktion/ Adduktion $170-0-40^\circ$ und für die Innenrotation/ Außenrotation $90-0-60^\circ$ (Magosch et al. 2013).

Bei der Untersuchung der Muskeln der Rotatorenmanschette werden zur Differenzierung der beteiligten Strukturen spezielle isometrische Krafttests verwendet. Beim 0° -Abduktionstest für den M. supraspinatus wird der Patient gebeten gegen den Haltewiderstand des Untersuchers die am Körper angelegten Arme in eine Abduktionsbewegung zu führen. Zwischen 0° - 30° Abduktion kommt dem M. supraspinatus eine sogenannte „Starterfunktion“ zu. Klagt der Patient hierbei über Kraftverlust, ist dies ein Hinweis auf eine Läsion des M. supraspinatus (Magosch et al. 2013).

Als weiterer Test wurde der „Jobe“-Test herangezogen, der Aufschluss über die Integrität der Anteile des SSP gibt (DVSE 2012). Der Patient führt in sitzender Position beide Arme in 90° Abduktion und 30° Flexion und versucht gegen den Widerstand des Untersuchers die Position zu halten. Die Testung erfolgt in innenrotierter und ebenso in außenrotierter Armhaltung (Full Can- und Empty-Can-Test), um eine weitere Differenzierung der anterioren und posterioren Anteile des SSP zu erzielen. Auch hier wird die Schmerzangabe oder ein relevanter Kraftverlust als positives Zeichen gewertet.

Um die Funktion des M. infraspinatus zu testen, wird der Patient gebeten den angelegten und 90° im Ellenbogengelenk gebeugten Arm gegen den Widerstand des Untersuchers nach außen zu rotieren. Ein positives Testergebnis liegt bei Kraftverlust oder ausgeprägter Schmerzsymptomatik vor. Der „Belly-press“-Test dient der Funktionsprüfung des M. subscapularis. Der Patient wird aufgefordert die flache Hand auf den Bauch zu drücken und dabei den Ellenbogen vorne zu halten. Bei abknickendem Handgelenk („Napoleon-Zeichen“) beziehungsweise zurückfallendem Ellenbogen als Indiz für die Unfähigkeit diese Position zu halten, liegt der Verdacht auf eine SSC-Läsion vor (Irlenbusch 2015).

Zusätzlich wurde der „Lift Off“-Test angewandt, bei dem der zu untersuchende Arm auf den Rücken positioniert und vom Körper abgehoben werden soll. Dieser prüft ebenfalls die Innenrotationsfunktion des SSC.

Beim „Speed’s“-Test wird der Patient aufgefordert den im Ellenbogengelenk leicht flektierten, maximal supinierten Arm gegen den Widerstand des Untersuchers zu beugen. Treten hierbei Schmerzen im Bereich des Sulcus intertubercularis auf ist der Test positiv und dient als Hinweis auf eine Verletzung der langen Bizepssehne.

Bei Patienten mit der Diagnose Schulterinstabilität wurden der Apprehension-, Hyperabduktions- und der „Jerk“-Test angewandt, um die Beteiligung der genauen Strukturen und die Richtung der Instabilität zu identifizieren. Beim Apprehension-Test wird der Patientenarm in Wurfarmposition gebracht und vorsichtig in eine Subluxationsstellung geführt. Äußert der Patient Schmerzen oder die Angst vor einer Luxation des Schultergelenks ist der Test als positiv zu werten.

Beim Hyperabduktionstest (Gagey und Gagey 2001) werden die inferioren glenohumeralen Kapsel-Bandstrukturen untersucht, um eine vorliegende Hyperlaxität zu prüfen. Ab einer glenohumeralen Abduktion von über 105° gilt der Test als positiv (DVSE 2012). Auch bei Patienten mit posttraumatischen Schulterinstabilitäten erweist sich dieser Test als sensitiv (Boileau et al. 2006). Ein weiterer Test zur Differenzierung einer Schulterinstabilität ist der erstmals von Hawkins und Bokor (1990) beschriebene „Jerk“-Test. Bei fixierter Scapula wird der 90° abduzierte und innenrotierte Arm vom Untersucher axial nach dorsal geschoben und somit der hintere Kapsel-Band-Apparat getestet. Ein muskuläres Gegenspannen, Schmerz oder ein Instabilitätsgefühl führen zu einem positiven Testergebnis.

Bei Patienten mit traumatischen Verletzungen des AC-Gelenks imponiert häufig neben einer vertikalen (sogenanntes Klaviertastenphänomen) auch eine horizontale Instabilität der Clavicula, die in der klinischen Untersuchung zu tasten ist (Brunner & Scheibel 2010). Als Test auf eine Beteiligung des AC-Gelenks wurde der Horizontaladduktionstest durchgeführt. Hierbei wird der Arm des Patienten passiv oder aktiv („Cross-Body-Zeichen“) in eine maximale Adduktion gebracht. Durch die zunehmende Kompression im AC-Gelenk kommt es zur Schmerzprovokation und der Test wird als positiv gewertet (DVSE 2012).

3.2 Klinische Scores

Der Einsatz klinischer Scores ist ein anerkanntes Instrument zur Beurteilung der Schulterfunktion. Diese Fragebögen dienen der Erhebung zusätzlicher Informationen über den Patienten, beispielweise über die subjektive Schmerzwahrnehmung oder die Fähigkeit zur Verrichtung von Aktivitäten des täglichen Lebens oder die Belastbarkeit in sportlichen Bereichen. Alle postoperativ gemessenen Patienten wurden mithilfe des Constant- und ASES Score analysiert.

3.2.1 CONSTANT-Score

Der Schulter-Score nach Constant und Murley ist ein Fragebogen zur subjektiven und objektiven Beurteilung der Schulterfunktion (Constant et al.

1987). Er wird unter anderem von der European Society of Shoulder & Elbow Surgery (SECEC/ESSE) als Standardinstrument empfohlen. Neben allgemeinen Angaben zum Schmerzzustand des betroffenen Schultergelenks und der Einschränkung im alltäglichen Leben, werden zusätzlich objektive Parameter wie das Bewegungsausmaß und die Kraft untersucht.

Bei einem schmerzfreien, voll funktionsfähigen Schultergelenk ist ein Gesamtwert von 100 Punkten zu erzielen.

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurde der Constant-Score in Bezug auf das Geschlecht und das Alter normiert bzw. adaptiert angegeben (Thomas et al. 2003).

Aufgrund der einfacheren Handhabung wurde bei der Messung der Kraftfähigkeit ein modifizierter Score verwendet. Dabei misst der Patient seine Kraft im Schultergelenk mit bekannten Gewichten in einer Handtasche am Handgelenk haltend. Er notiert sich das maximale Gewicht, welches 5 Sekunden gehalten werden kann. Diese, für den Patienten einfach zu realisierende Kraftmessung, liefert nachweislich vergleichbare Werte zur Originalerhebung (Kupsch et al. 2005).

Wertung	Score-Ergebnis (in %)
ausgezeichnet	91-100
gut	81-90
befriedigend	71-80
ausreichend	60-70
schlecht	< 60

Tab. 1: Wertung des normierten Constant Score

3.2.2 ASES-Score

Als ergänzender Fragebogen wurde der wissenschaftlich ebenfalls anerkannte American Shoulder and Elbow Surgeons Shoulder Score (ASES) verwendet (Angst et al. 2011). Dieser rein subjektive Score dient ebenfalls zur funktionellen Beurteilung des betroffenen Schultergelenks. Er besteht aus einer

Schmerzskala und zehn Fragen zur Evaluation der Alltagsfunktion. Berechnet wird der Score mit der Formel $[(10 - \text{VAS-Wert}) \times 5 + \text{ADL-Wert} \times 5/3]$. In Summe sind 100 Punkte bei voll funktionstüchtiger Schulter zu vergeben.

Wertung	Punkte
ausgezeichnet	96-100
gut	81-95
befriedigend	61-80
unbefriedigend	< 60

Tab. 2: Wertung des normierten ASES Score

3.2.3 Visuelle Analogskala

Die visuelle Analogskala misst den subjektiven Schmerz des Patienten auf einer Skala vom Ausgangspunkt „0 = keine Schmerzen“ bis zum Endpunkt „10 = unerträgliche Schmerzen“.

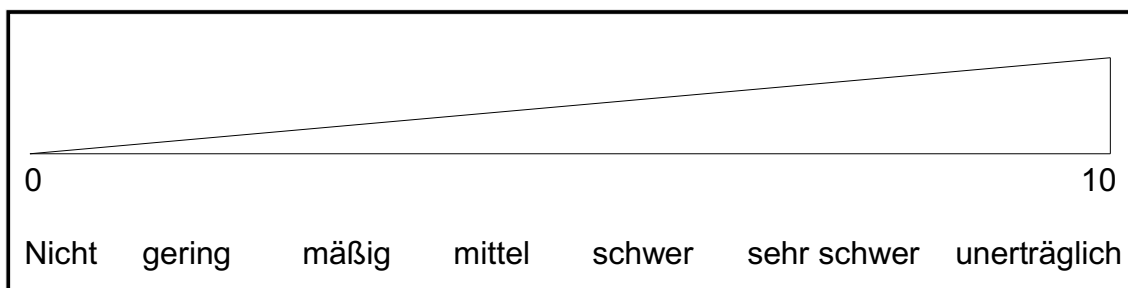


Abb. 12: Visuelle Analogskala

3.3 Analyse der Sensomotorik

Das Aufrechterhalten einer Gleichgewichtsposition erfordert ein hohes Maß an sensomotorischer Kontrollfähigkeit. So ist die Stabilisierung einer Körperposition einer natürlichen und ständigen Änderung des

Körperschwerpunktes und des Druckmittelpunktes („center of pressure“ /COP) unterworfen.

Die stabilometrische Analyse dieses Druckmittelpunktes und seinen Veränderungen mithilfe von Kraftmessplatten findet hinsichtlich der Bestimmung der Haltungsstabilität und Balancefähigkeit seit Jahrzehnten Anwendung (Murray et al. 1975; Black et al. 1982; Shimba 1982; Goldie et al. 1989; Prieto et al. 1996; Raymakers et al. 2003). Edouard et al. (2012; 2014) beschrieben erstmals die COP-basierte Messtechnik an der oberen Extremität und untersuchten die sensomotorische Funktion des Schultergelenkes.

Je ineffizienter die dynamische Kontrolle der Körperposition und je mehr Störimpulse dadurch entstehen, desto größer wird die Streuung des COP (Nakano & Takahashi 1995). Durch Aufzeichnung dieser zeitlichen Veränderungen des COP können die Gleichgewichtsbewegungen quantifiziert werden (Pomarino et al. 2013). Die Abweichungen des COP dienen somit als Maß für die sensomotorische Kontrollfähigkeit.

3.3.1 Kraftmessplatte

Mit Hilfe einer von der Firma Bertec (Bertec Corporation, Columbus, OH, USA) für die Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften der Technischen Universität München hergestellten Kraftmessplatte wurde die sensomotorische Funktionsfähigkeit des Schultergelenks validiert.

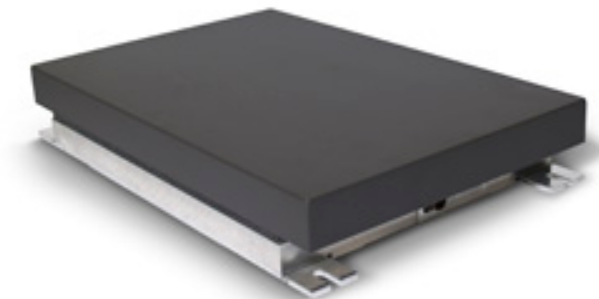


Abb. 13: Kraftmessplatte (Bertec 2018)

3.3.2 Technischer Aufbau

Die Kraftmessplatte beruht auf dem Prinzip der Dehnungsmesstreifen-Technologie. Sowohl vertikale und horizontale Kräfte, als auch beschleunigende Drehmomente um den Kraftangriffspunkt, sowie Messungen des COP können mithilfe des Messsystems detektiert werden (Prieto et al. 1996; Raymakers et al. 2005; Lin et al. 2008).

Durch den Druckimpuls werden analoge Signale durch Veränderungen des elektrischen Widerstandes an den Dehnmesstreifen erzeugt, die über einen A/D-Wandler mit einem Messverstärker und einer Samplingrate von 100 Hz in 16 Bit-Digitaldaten verarbeitet und am Computer aufgezeichnet werden. Die Software „Templo“ (Firma Contemplas GmbH, Kempten, Deutschland) verarbeitet die Daten und gibt sie als Wertetabelle aus.

3.3.3 COP-Messung

Als Gleichgewichtsparameter wurde die Gesamtlängenabweichung des COP bestimmt. Der COP beschreibt den Vektor der Schwerkraft und die Änderung dieses Druckmittelpunktes dient als Maß für das Schwankungsverhalten des Körpers während einer aktiv-statischen Halteposition (Blaszczyk 2016).

Als Messwerte für die Streuung des Druckmittelpunktes wurden die medial-lateralen (COPx-Achse) und anterior-posterioren (COPy-Achse) Verschiebungen des COP in der SI-Einheit Meter aufgezeichnet. Aus beiden COP-Koordinaten kann im Folgenden der tatsächlich zurückgelegte Weg des COP (COPxy in m) zwischen zwei Aufnahmezeiten mit der Formel

$$[\text{COPx}^2 + \text{COPy}^2 = \text{COPxy}^2]$$

als Gesamtlängenparameter berechnet und somit die stabilometrische Abweichung vom COP quantifiziert werden (Collins & De Luca 1993).

Messdurchführung:

Die sensomotorische Messung erfolgte nach Vorbild des standardisierten Verfahrens, das erstmals von Edouard et al. (2014) für die obere Extremität beschrieben wurde. Die definierte Ausgangstellung erfordert neben statischer Haltearbeit des gesamten oberen Rumpfes auch die Fähigkeit der aktiv-dynamischen Gelenkstabilisierung zur Kontrolle der Körperhaltung und stellt somit eine komplexe Gleichgewichtsposition dar. Des Weiteren wird durch eine standardisierte Messposition eine entsprechende Vergleichbarkeit gewährleistet.

Die Probanden werden angewiesen eine Liegestützposition mit einer im Ellenbogengelenk 0° extendierten sowie im Hand- u. Schultergelenk 90° flektierten Armhaltung einzunehmen. Beide Beine werden zur Gewichtsentslastung bis zu den Spinae iliacae anteriores superiores durch eine höhenverstellbare Massageliege unterstützt. Die Höhe der Liege wird individuell jedem Teilnehmer angepasst, um eine einheitliche Position mit ausgestreckter Armpositionierung zu erreichen. Der Kopf der Probanden wird in neutraler Position in Verlängerung der Wirbelsäule gehalten, der Blick richtet sich nach unten auf die stützenden Hände und die Finger der Hand sind geschlossen.

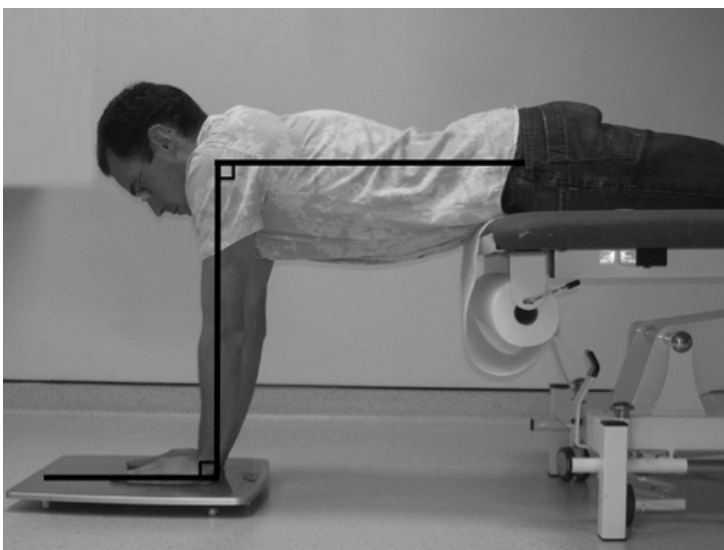


Abb. 14: Messposition (Edouard et al. 2014)

Jeder Messuntersuchung ging ein Probedurchlauf von 30 Sekunden voraus. Die Messung wurde in ruhiger Atmosphäre, in der gleichen Räumlichkeit und stets durch denselben Untersucher durchgeführt. Die eigentliche Messsequenz wurde anschließend einarmig ausgeführt. Den jeweils ruhenden Arm legte der Proband an seinem Bauch an. Nach korrekter Einnahme der Messposition wurden die Teilnehmer angewiesen, 30 Sekunden so ruhig wie möglich auf den jeweiligen Arm zu stützen. 5 Sekunden nach Einnahme der Ausgangsstellung wurde die Messung gestartet, sodass bei jedem Probanden eine 25 Sekunden andauernde Messsequenz aufgezeichnet werden konnte. Anschließend wurde die Messung jeweils mit geschlossenen Augen wiederholt. Jede Messsequenz beinhaltete dieselbe Testreihenfolge: Augen geöffnet, Augen geschlossen, jeweils für die gesunde und erkrankte Seite. Auf jeden Durchgang folgte eine 30 Sekunden dauernde Erholungsphase.

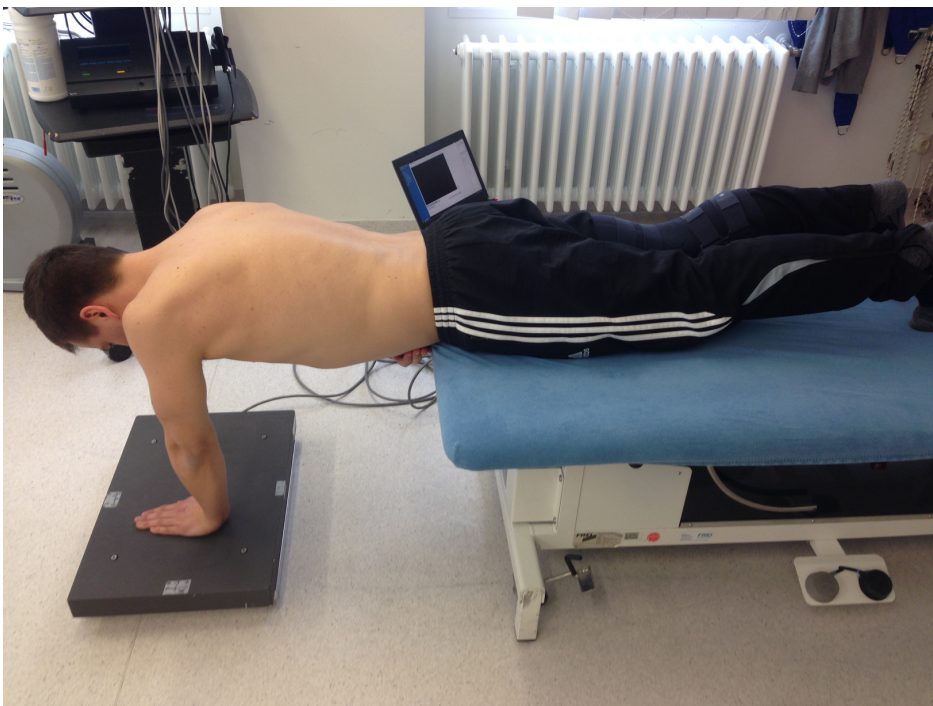


Abbildung 15: Messposition von seitlich

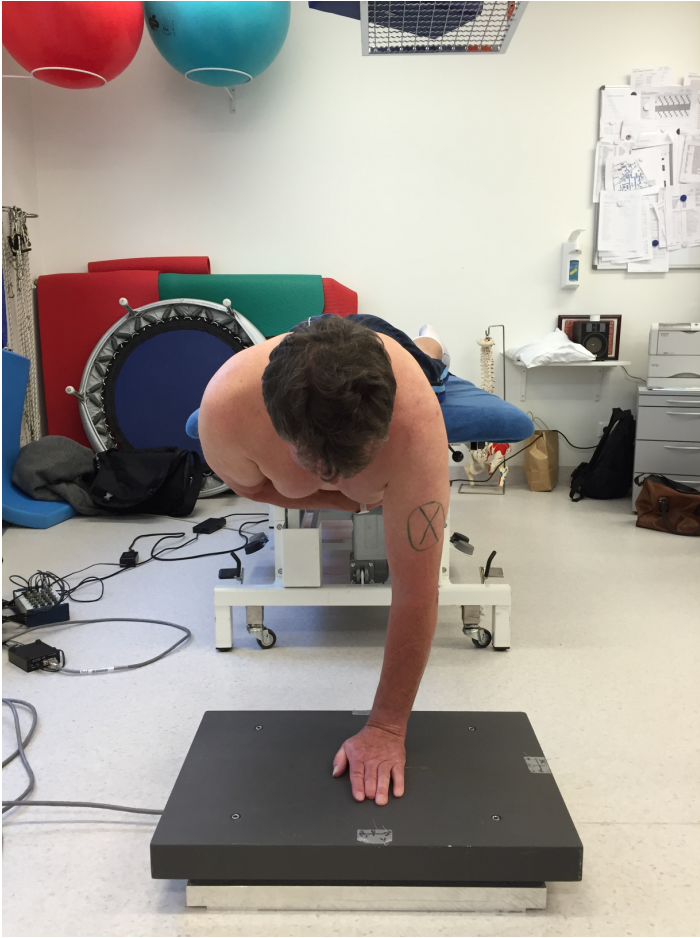


Abbildung 16: Messposition von vorne

3.4 Statistische Verfahren

Die Analyse und Präsentation der Daten erfolgte anhand des Softwareprogramms „R Statistik Version 3.4.2.“, „IBM SPSS Statistics 24.0“ und „Microsoft Excel 2011 für Windows und Mac“.

Da die erhobenen Messdaten keine Normalverteilung aufweisen wurde als statistisches Testverfahren zur Varianzanalyse unabhängiger Stichproben der nichtparametrische H-Test nach Kruskal und Wallis verwendet. Hiermit wurden die Mediane der Stichproben miteinander verglichen und alle stetigen Variablen mittels Median sowie 1. und 3. Quartil dargestellt.

Im zweiten Teil der statistischen Analyse folgte der Vergleich auf Unterschiede von jeweils zwei abhängigen Stichproben gegeneinander mithilfe des Wilcoxon-Rangsummentests. Um das Streuungsmaß der Daten zu beschreiben, wurde die grafische Darstellung von Boxplots verwendet.

Um das Signifikanzniveau zwischen den Untersuchungsgruppen zu prüfen, wurde ein p-Wert von $<0,05$ als signifikant und $<0,001$ als hoch signifikant festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Kontrollgruppe

Die Kontrollgruppe umfasste 10 (7m/3w) gesunde Probanden, 8 Rechtshänder und 2 Linkshänder. Das durchschnittliche Alter zum Messzeitpunkt betrug 47,0 (20-78) Jahre.

4.1.1 COP-Messung

In der gesunden Kontrollgruppe lag der Medianwert auf der dominanten Seite mit offenen Augen (Do_open) bei 1,05 m [0,95; 1,20] und mit geschlossenen Augen (Do_closed) bei 1,03 m [0,93; 1,13]. In der Sequenz auf der nicht-dominanten Seite mit geöffneten Augen (Non-do_open) ergab die Messung einen medianen Wert von 1,00 m [0,92; 1,34] und mit geschlossenen Augen (Non-do_closed) 1,04 m [0,97; 1,13]. Hier ergaben sich keinerlei signifikante Unterschiede im Seitenvergleich.

COPxy-Werte	Do_open	Do_closed	Non-do_open	Non-do_closed
Median in m	1,05	1,03	1,00	1,04
[25%; 75%] Perzentile	[0,95; 1,20]	[0,93; 1,13]	[0,92; 1,34]	[0,97; 1,13]

Tab. 3: mediane COPxy-Werte der Kontrollgruppe

Es zeigten sich keinerlei signifikante Seitenunterschiede beim Vergleich der dominanten zur nicht-dominanten Schulter, weder mit geöffneten ($p=1,00$) noch mit geschlossenen Augen ($p=0,77$). Ebenso verhielt sich der Vergleich des visuellen Einflusses auf die Messung. Weder an der dominanten (offen vs.

geschlossen $p=0,322$) noch an der nicht-dominanten (offen vs. geschlossen $p=0,922$) Schulter ergaben sich signifikante Seitendifferenzen.

4.2 Ergebnisse der Gruppe RM präop

4.2.1 Anamnese und Klinik

In der folgenden Untersuchungsgruppe wurden präoperativ 10 (7m/3w) Patienten sowohl mit isolierten SSP-, SSC-Rupturen als auch kombinierten Verletzungen der Rotatorenmanschette eingeschlossen.

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Untersuchungs- und Messzeitpunkt betrug 50,5 (29-71) Jahre. In 9 von 10 Fällen (90%) war laut Patientenangabe die dominante Schulter, in einem Fall (10%) die nicht-dominante Schulter betroffen. Eine Rotatorenmanschettenläsion der rechten Schulter trat in 9 Fällen (90%), der linken Schulter in einem Fall (10%) auf. Die Patienten waren ausnahmslos Rechtshänder. Die Messung erfolgte in der Woche vor der operativen Versorgung bzw. am OP-Tag selbst. In Bezug auf die Ätiologie lag bei 7 der 10 eingeschlossenen Patienten (70%) ein seit durchschnittlich $3,4 \pm 1,8$ Jahre persistierendes Beschwerdebild ohne erinnerliches Trauma, bei 3 (30%) ein akutes Sturzereignis zugrunde.

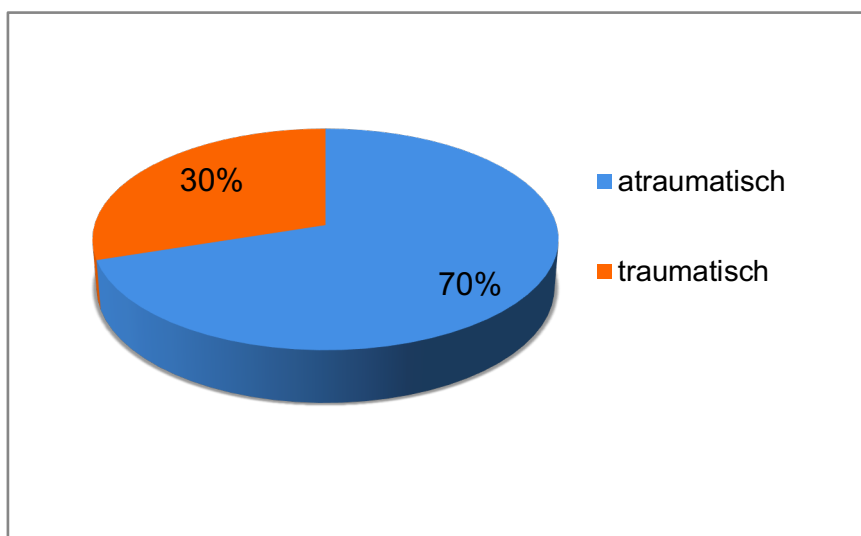


Abb. 17: Verletzungsätiologie Gruppe RM präoperativ

20% der Fälle zeigten isolierte SSP-Rupturen (Patte Grad II). Zu jeweils 30% traten isolierte SSC-Rupturen (Fox/Romeo Typ I n=2, Typ II n=1) sowie kombinierte SSP- (PASTA n=1, Patte Grad I n=1, Grad II n=1) und SSC-Rupturen (Fox/Romeo Typ I n=1, Typ II n=2) auf. Es komplettierte die Gruppe ein kombiniertes Verletzungsmuster mit SSP- (Patte II) und ISP-Ruptur und eine Läsion der RM mit SSP- (Patte III), ISP- und SSC-Beteiligung (Fox/Romeo Typ III).

Die Funktionsprüfung war gekennzeichnet von zahlreichen positiven Testergebnissen. Bei 90% der Patienten zeigten sich der „Starter“- und „Jobe“-Test positiv. 50% positive Ergebnisse bei forcierter Außenrotation (\emptyset Kraftgrad 3,6/5) und 40% positive „Lift Off“-Tests (bei der Hälfte der Patienten aufgrund eingeschränkter Beweglichkeit nicht durchführbar). Zu jeweils 70% lieferten der „Belly Press“-Test und der „Speed’s“-Test positive Ergebnisse.

In der weiteren körperlichen Untersuchung zeigten sich bei der aktiven Beweglichkeitsprüfung des Schultergelenks Flexions- und Extensionsdefizite von $65,5^{\circ} \pm 31,3^{\circ}$ u. $11,0^{\circ} \pm 8,4^{\circ}$ sowie Abduktions- und Adduktionsdefizite von $85,5^{\circ} \pm 8,9^{\circ}$ u. $12^{\circ} \pm 6,3^{\circ}$. In der Außenrotation lag das Defizit bei $23,5^{\circ} \pm 13,3^{\circ}$. In der Innenrotationsrichtung erreichten jeweils 20% der Patienten mit dem Daumen die Oberschenkelrückseite und den unteren Glutealbereich, 50% den Lendenwirbelbereich und ein Patient zeigte die volle Beweglichkeit auf Höhe der Spina scapulae.

Die kontralaterale Schulterpartie präsentierte sich verletzungsfrei und ohne Einschränkung.

4.2.2 COP-Messung

Die COP-Messung auf der Seite der Läsion ergab einen Medianwert mit geöffneten Augen (Op_open) von 1,16 m [0,93; 1,77] und mit geschlossenen Augen (Op_closed) von 1,21 m [1,11; 1,62]. Auf der gesunden Seite erreichten die Patienten mit offenen Augen (Non-op_open) 1,12 m [0,94; 1,34] und mit geschlossenen Augen (Non-op_closed) 1,13 m [0,91; 1,57].

COPxy-Werte	Op_open	Op_closed	Non-op_open	Non-op_closed
Median in m	1,16	1,21	1,12	1,13
[25%; 75%] Perzentile	[0,93; 1,77]	[1,11; 1,62]	[0,94; 1,34]	[0,91; 1,57]

Tab. 4: mediane COPxy-Werte der Gruppe RM präoperativ

Im Vergleich der operierten vs. gesunden Schulter (Augen offen) ergab sich ein signifikanter ($p=0,027$) Seitenunterschied des COP-Wertes. Mit geschlossenen Augen zeigte sich diesbezüglich kein signifikanter ($p=0,084$) Unterschied.

Der Vergleich der operierten Seite (offene Augen vs. geschlossen $p=0,922$) und der nicht-operierten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,322$) wies keinen signifikanten Unterschied auf. Im Vergleich dominant/nicht-dominant zeigte sich lediglich bei geöffneten Augen ($p=0,037$) ein signifikanter Unterschied (geschlossene Augen $p=0,193$). Die Vergleiche auf der dominanten (offen vs. geschlossen $p=0,695$) und der nicht-dominanten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,193$) präsentierten keine signifikanten Seitendifferenzen.

4.3 Ergebnisse der Gruppe RM postoperativ

4.3.1 Anamnese und Klinik

Die dritte Untersuchungsgruppe umfasste 10 (5m/5w) Patienten nach Operation einer isolierten SSP-Ruptur oder kombinierten Verletzung der Rotatorenmanschette.

Zum OP-Zeitpunkt betrug das durchschnittliche Alter der Patienten 58,5 (45-69) und zum Untersuchungs- u. Messzeitpunkt 61,4 (47-72) Jahre. In 7 von 10 Fällen (70%) war laut Patientenangabe die dominante Schulter, in 3 Fällen (30%) die nicht-dominante Schulter betroffen. Eine

Rotatorenmanschettenläsion der rechten Schulter lag in 8 Fällen (80%), der linken Schulter in 2 Fällen (20%) vor. Ein Linkshänder (10%) befand sich unter den Patienten (90% Rechtshänder). Ätiologisch erlitten 3 von 10 Patienten (30%) die Verletzung im Rahmen eines Traumas und 7 Fälle (70%) gingen auf eine durchschnittlich $3,4 \pm 2,7$ Jahre dauernde Beschwerdeperiode ohne erinnerliches Trauma zurück.

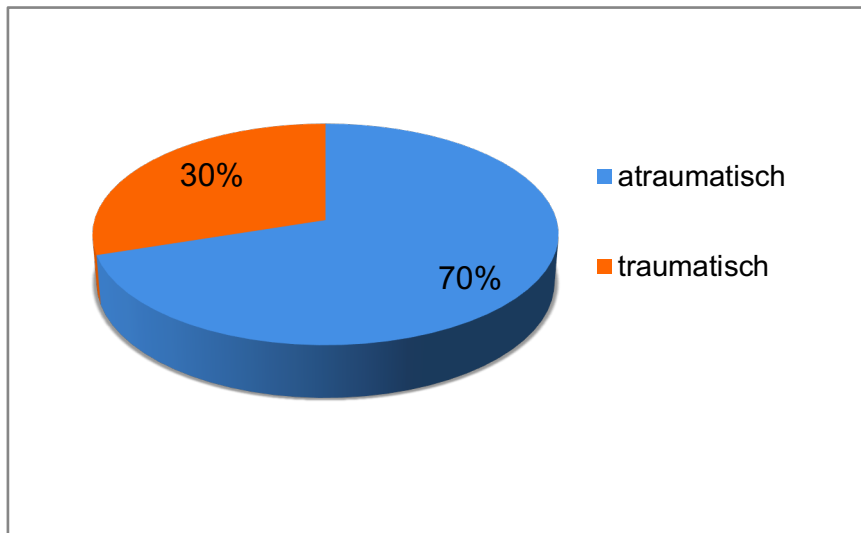


Abb. 18: Verletzungsätiologie Gruppe RM postoperativ

In 40% der Fälle (n=4) lag eine isolierte SSP-Ruptur vor (Ausdehnungsgrad Sehnenretraktion nach Patte: Grad I n=2, Grad II n=2). Bei 30% der Fälle (n=3) traten kombinierte SSP- (Patte II n=1, Patte III n=2), ISP- und SSC-Rupturen (Fox/Romeo Typ I n=1, Typ II n=2) auf. Die restlichen 20% der Patientengruppe stellten kombinierte SSP- und ISP-Rupturen (Patte II n=2) dar.

Ausnahmslos alle Patienten zeigten als Begleitläsion Affektionen der LBS im Sinne von Tendinitiden, Subluxationen und Luxationen. In 90% der Fälle wurde hier eine Tenotomie vorgenommen, lediglich ein Patient (10%) wurde auf Wunsch mit einer subpectoralen Tenodese versorgt. In 2 Patientenfällen (20%) wurde intraoperativ aufgrund der unzureichenden Platzverhältnisse und der damit einhergehenden Schwierigkeit der Sehnenmobilisation auf ein Mini-Open-Verfahren umgeschwenkt.

Der Zeitpunkt der Untersuchung fand im Durchschnitt $2,9 \pm 1,3$ Jahre postoperativ statt. Anamnestisch berichteten 3 Patienten (30%) von leichten

Schmerzen (VAS 1-3). In den Funktionstests zeigte sich jeweils ein Patient mit positivem „Jobe“- bzw. „Lift Off“-Test und 3 Patienten mit positivem „Speed's“-Test. Alle anderen Tests zeigten negative Testergebnisse.

Bei der Untersuchung der aktiven Beweglichkeit des Schultergelenks präsentierte die RM-Gruppe ein Flexions- und Extensionsdefizit von $7,0^{\circ} \pm 6,7^{\circ}$ und $8,0^{\circ} \pm 6,3^{\circ}$, in der Abduktions- bzw. Adduktionsbewegung $7,5^{\circ} \pm 6,3^{\circ}$ und $6,0^{\circ} \pm 6,9^{\circ}$ sowie in der Außenrotationsrichtung ein Defizit von durchschnittlich $14,0^{\circ} \pm 11,7^{\circ}$. Bei der Prüfung der Innenrotation erreichten 40% der Patienten mit dem Daumen die interscapuläre Höhe, 30% die Höhe LWK1, 10% S1 und 20% den Glutealbereich. In der ergänzenden sonographischen Untersuchung stellten sich alle Rotatorenmanschettenrekonstruktionen intakt dar. Das kontralaterale Schultergelenk präsentierte sich bei allen Teilnehmern der Gruppe symptomfrei und frei beweglich.

4.3.2 Scores

Constant-Score

Der durchschnittliche Constant-Score lag bei der RM-Gruppe postoperativ ungewichtet bei $81,4 \pm 8,8$ Punkten, mit einem Median von 82,5 Punkten und den Min./Max.-Werten von 63 bzw. 91 Punkten. Im geschlechts- u. altersadaptierten Score wurden im Durchschnitt ein Wert von 94% erzielt. Der Median lag bei 96% und der Min./Max.-Wert bei 79 bzw. 100%.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
Constant	81,4	8,8	63	91	82,5
Constant – alters- u. geschlechtsadaptiert (in %)	94	7,0	79	100	96

Tab. 5: Ergebnisse Constant Score Gruppe RM postoperativ

Somit erzielten 90 % gute bis ausgezeichnete Score-Werte. Lediglich ein Patient (10%) zeigte ein befriedigendes Ergebnis.

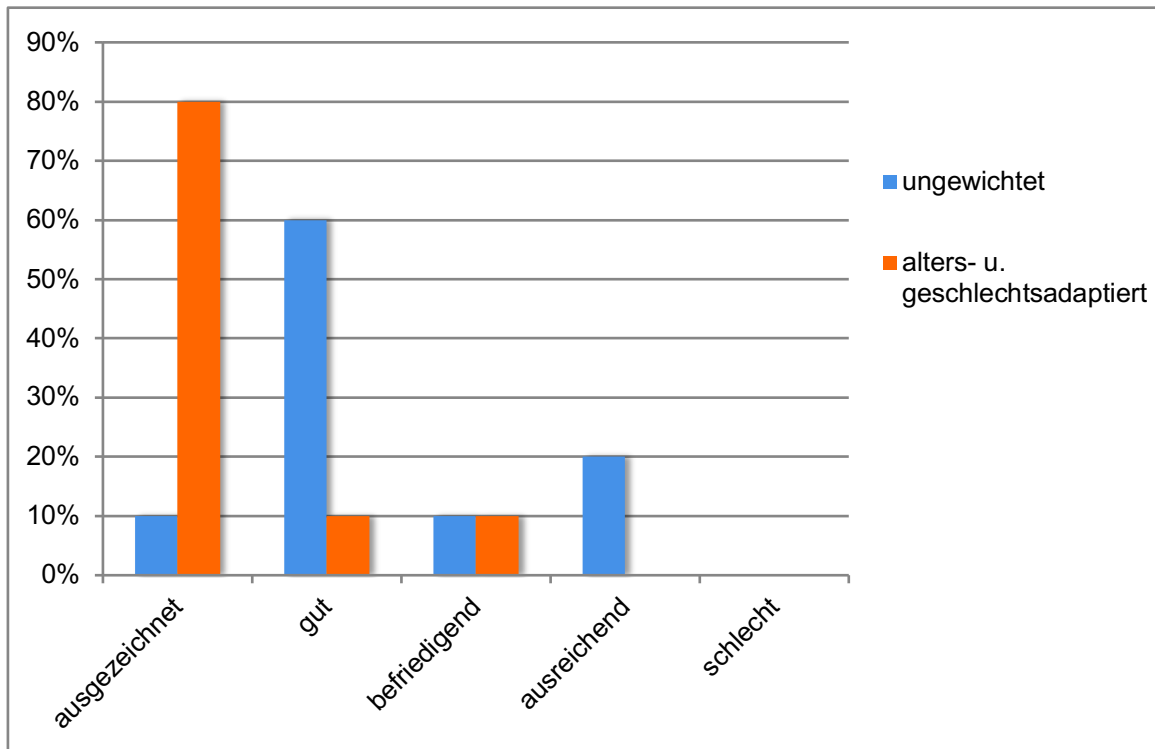


Abb. 19: Bewertung der Constant Score Gruppe RM postoperativ

ASES Score

In Bezug auf den ASES Score erreichte die Gruppe durchschnittlich einen Punktwert von $92,5 \pm 9,6$. Der Median lag bei 95,8 und der Min./Max.-Wert bei 70 bzw. 100 Punkten.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
ASES	92,5	9,6	70	100	95,8

Tab. 6: Ergebnisse ASES Score Gruppe RM postoperativ

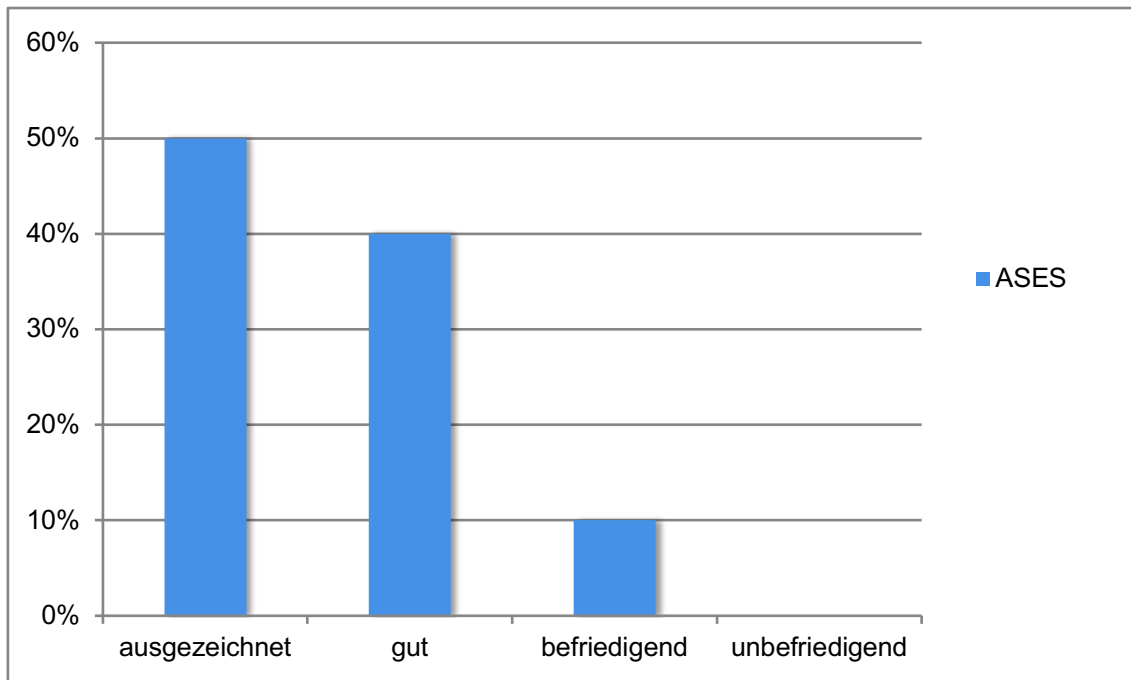


Abb. 20: Bewertung der ASES Score Gruppe RM postoperativ

VAS

Auf der visuellen Schmerzskala erzielten die Patienten einen durchschnittlichen Punktwert von $0,5 \pm 0,8$ mit einem Min.-Wert von 0 und einem Max.-Wert von 2 Punkten.

Score	Ergebnisse			
	Mittelwert	SD	Min.	Max.
VAS	0,5	0,8	0	2

Tab. 7: Ergebnisse VAS Gruppe RM postoperativ

4.3.3 COP-Messung

In der Messsequenz mit offenen Augen wurde auf der operierten Seite (Op_open) ein medianer COP-Wert von 1,20 m [1,05; 1,45] und mit geschlossenen Augen (Op_closed) ein Wert von 1,04 m [0,97; 1,60] erreicht. Auf der nicht-operierten Seite mit offenen Augen (Non-op_open) lag der COP-Wert bei 1,08 m [0,97; 1,40] und mit geschlossenen Augen (Non-op_closed) bei 1,10 m [0,93; 1,56].

COPxy-Werte	Op_open	Op_closed	Non-op_open	Non-op_closed
Median in m	1,20	1,04	1,08	1,10
[25%; 75%] Perzentile	[1,05; 1,45]	[0,97; 1,60]	[0,97; 1,40]	[0,93; 1,56]

Tab. 8: mediane COPxy-Werte der Gruppe RM postoperativ

Der direkte Vergleich der operierten zur gesunden Seite zeigte weder offen ($p=0,322$) noch geschlossen ($p=0,557$) einen signifikanten Unterschied des COP-Wertes.

Sowohl der Vergleich der operierten Seite (offene vs. geschlossen $p=0,557$) als auch der nicht-operierten Seite (offen vs. geschlossen $p=1,00$) ergab keinen signifikanten Unterschied. Mit Blick auf die Händigkeit zeigte sich im dominanten/ nicht-dominanten Vergleich (offen $p=0,322$, geschlossen $p=0,492$) keine Signifikanz. Ebenfalls nicht signifikant präsentierten sich die Vergleiche auf der dominanten (offen vs. geschlossen $p=0,557$) und der nicht-dominanten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,922$).

4.4 Ergebnisse der Gruppe ACG postoperativ

4.4.1 Anamnese und Klinik

In die Untersuchungsgruppe mit operativer AC-Gelenksrekonstruktion wurden 10 (9m/1w) Patienten eingeschlossen.

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum OP-Zeitpunkt 35,4 (19-63 Jahre Varianzbreite) und zum Untersuchungs- und Messzeitpunkt 38,1 (21-67) Jahre. In 7 von 10 Fällen (70%) war laut Patientenangabe die dominante Schulter, in 3 Fällen (30%) die nicht-dominante Schulter betroffen. Eine AC-Gelenksluxation der rechten Schulter trat in 7 Fällen (70%), der linken Schulter in 3 Fällen (30%) auf. Die Patienten waren ausnahmslos Rechtshänder. Alle zehn Patienten zogen sich die Verletzungen (Rockwood Typ IV n=4 (40%), Rockwood Typ V n=6 (60%)) bei akut-traumatischen Sturzereignissen zu. 50 % (n=5) der Patienten stürzten beim Ski- u. Snowboardfahren, 40% (n=4) beim Radfahren und ein Patient (10%) im Rahmen eines Rugbyspiels.

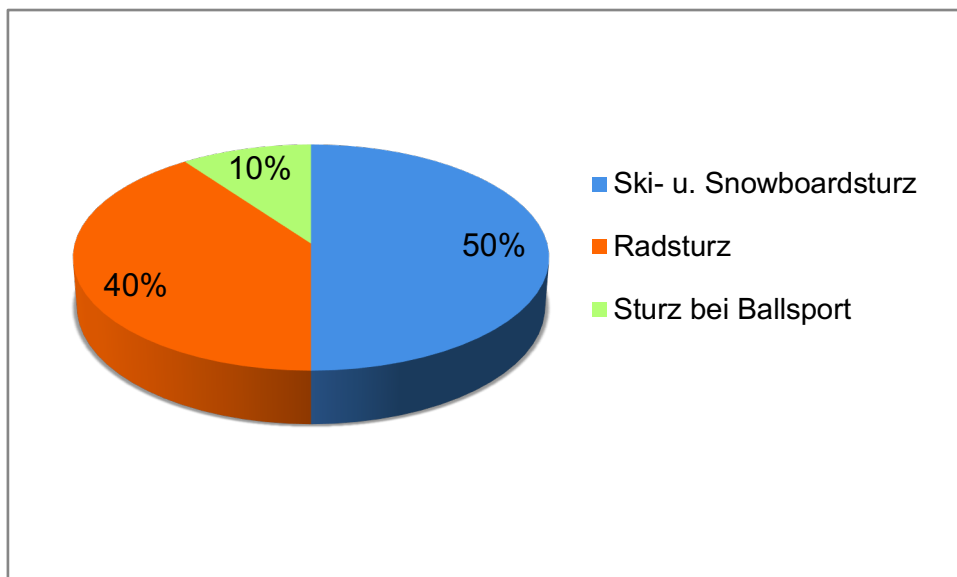


Abb. 21: Verletzungsätiologie AC-Gelenkluxation

Bei einem Patienten (10%) fand sich intraoperativ eine kraniale Ruptur des M. Subscapularis mit Affektion des Pulley Systems, was beides in gleicher Sitzung u.a. mit einer arthroskopischen Naht und LBS-Tenotomie mitversorgt wurde.

Zum Untersuchungs- und Messzeitpunkt ($2,5 \pm 0,5$ Jahre postoperativ) gaben 3 Patienten (30%) noch bestehende leichtgradige Beschwerden der operierten Schulter an (VAS 1-2).

In der klinischen Funktionsprüfung der Schulterbeweglichkeit zeigte die Patientengruppe durchschnittlich ein Flexions- und Extensionsdefizit von $10,0^\circ \pm 4,7^\circ$ bzw. $5,0^\circ \pm 5,3^\circ$. In der Abduktion $6,0^\circ \pm 12,6^\circ$, Adduktion $2,0^\circ \pm 4,2^\circ$ und in der Außenrotationsrichtung $3,0^\circ \pm 4,8^\circ$. Bei der Prüfung der Innenrotation erreichten 8 von 10 Patienten (80%) mit dem Daumen den interscapulären Bereich, 2 der Patienten (20%) die Höhe des 12. Brustwirbels (BWK 12).

Starter-, Jobe-, Belly Press, Lift Off-, Speed's-Test und Innenrotation gegen Widerstand waren negativ. Die zusätzliche Testung des AC-Gelenks erfolgte mithilfe des passiven Horizontaladduktionstests (plus aktives Cross-Body-Sign). Hier zeigten sich 2 Patienten (20%) symptomatisch mit positiven Tests. Die kontralaterale Schulter aller Patienten mit AC-Gelenksrekonstruktion war unverletzt, symptomfrei und frei beweglich.

4.4.2 Scores

Constant Score

Die Gruppe der ACG-Luxationen erzielte im ungewichteten Constant-Score einen durchschnittlichen Wert von $83,3 \pm 11,8$ Punkten mit einem Median von 84 Punkten und einem Min./Max.-Wert von 64 bzw. 99 Punkten. In Bezug auf die geschlechts- und altersadaptierte Form lag der Wert im Durchschnitt bei $89,4 \pm 10,6\%$, der Median bei 90,5% und der Min./Max.-Wert bei 70 bzw. 100%.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
Constant	83,3	11,8	64	99	84
Constant – alters- u. geschlechtsadaptiert (in %)	89,4	10,6	70	100	90,5

Tab. 9: Ergebnisse Constant Score Gruppe ACG postoperativ

Im alters- und geschlechtsadaptierten Constant Score erreichten die ACG-Patienten in 80 % der Fälle einen guten bis ausgezeichneten Score-Wert. Lediglich 20 % der Gruppe zeigten ein befriedigendes bis ausreichendes Ergebnis.

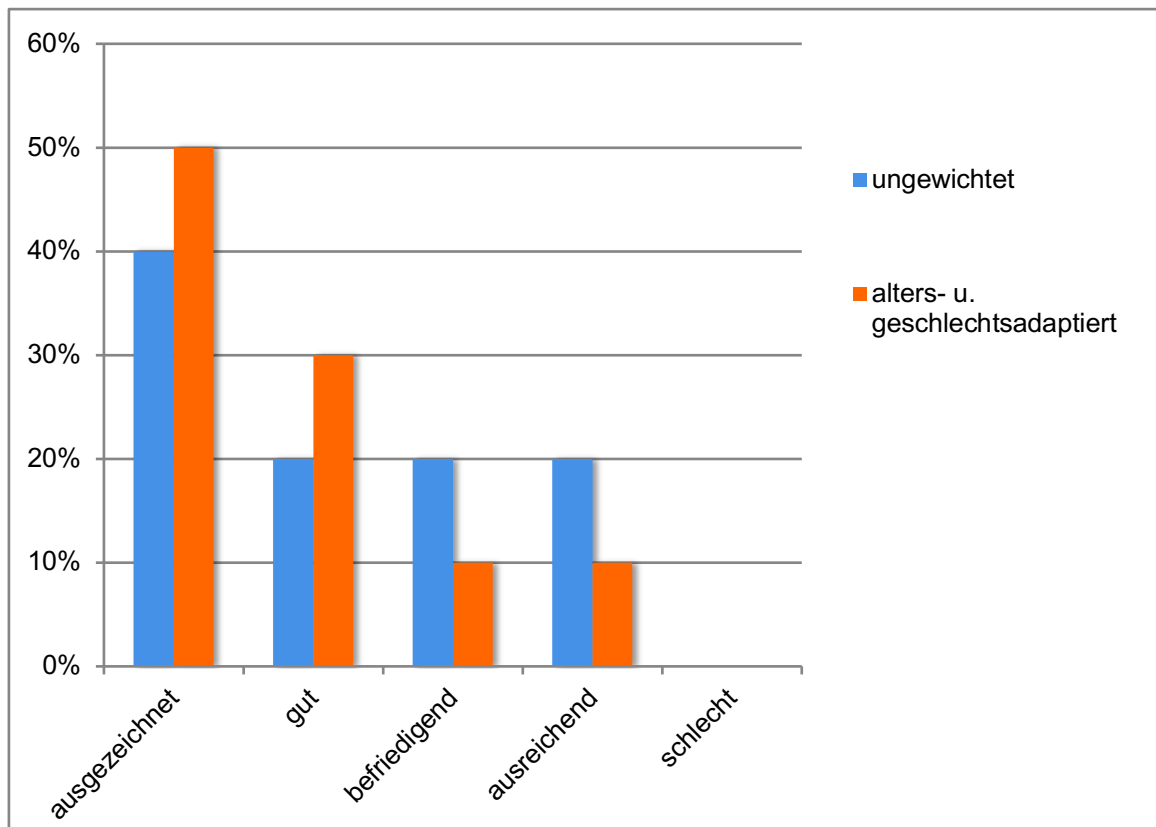


Abb. 22: Bewertung der Constant Score Gruppe ACG postoperativ

ASES Score

Bei der Auswertung des ASES Score erzielte die Gruppe im Durchschnitt einen Punktwert von $95,5 \pm 7,0$. Der Median lag bei 99,7 und die Min.-/ Max.-Werte bei 78,3 bzw. 100 Punkten.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
ASES	95,5	7,0	78,3	100	99,7

Tab. 10: Ergebnisse ASES Score Gruppe ACG postoperativ

Im ASES Score erreichten die ACG-Patienten in 90 % der Fälle einen guten bis ausgezeichneten Score-Wert. Lediglich 10 % der Gruppe zeigten ein befriedigendes Ergebnis.

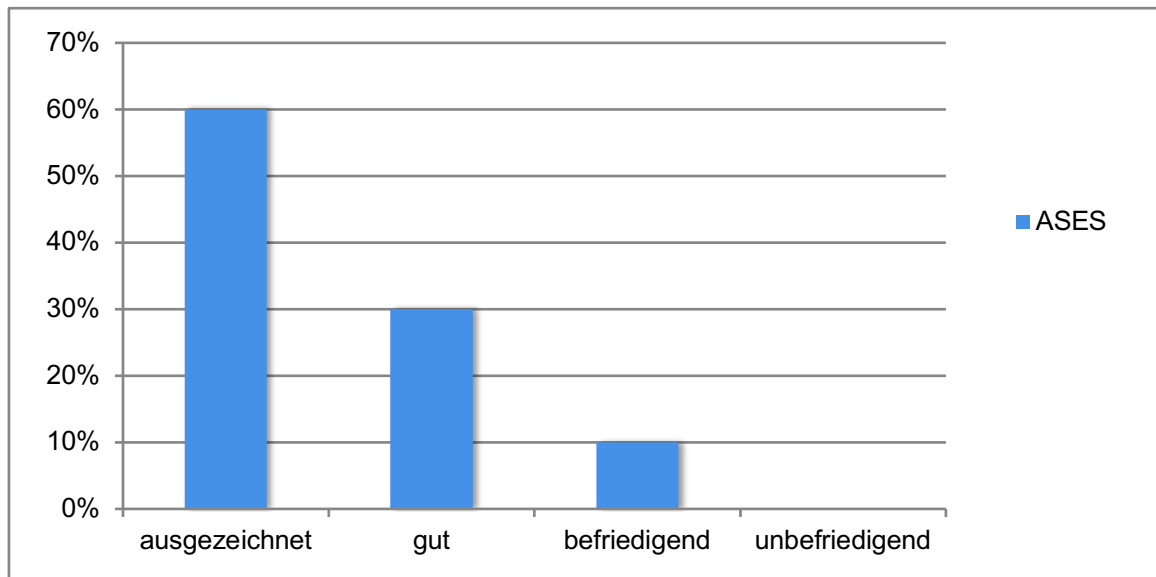


Abb. 23: Bewertung der ASES Score Gruppe ACG postoperativ

VAS

Die Patientenangaben auf der visuellen Schmerzskala ergaben einen durchschnittlichen Punktwert von $0,5 \pm 0,9$ mit einem Min.-Wert von 0 und einem Max.-Wert von 3 Punkten.

Score	Ergebnisse			
	Mittelwert	SD	Min.	Max.
VAS	0,5	0,9	0	3

Tab. 11: Ergebnisse VAS Gruppe ACG postoperativ

4.4.3 COP-Messung

In der Messsequenz mit offenen Augen wurde auf der operierten Seite (Op_open) ein medianer COP-Wert von 1,03 m [0,99; 1,07] und mit geschlossenen Augen (Op_closed) ein Wert von 0,92 m [0,89; 1,15] erreicht. Auf der nicht-operierten Seite mit offenen Augen (Non-op_open) lag der COP-Wert bei 0,98 m [0,89; 1,07] und mit geschlossenen Augen (Non-op_closed) bei 0,92 m [0,85; 1,06].

COPxy-Werte	Op_open	Op_closed	Non-op_open	Non-op_closed
Median in m	1,03	0,92	0,98	0,92
[25%; 75%] Perzentile	[0,99; 1,07]	[0,89; 1,15]	[0,89; 1,07]	[0,85; 1,06]

Tab. 12: mediane COPxy-Werte der Gruppe ACG

Der direkte Vergleich der operierten Schulter zur gesunden Seite (mit offenen Augen) wies einen signifikanten ($p=0,049$) Unterschied des COP-Wertes auf. Mit geschlossenen Augen zeigte sich diesbezüglich kein signifikanter ($p=0,275$) Unterschied.

Sowohl der Vergleich der operierten Seite (offene Augen vs. geschlossen $p=0,193$) als auch der nicht-operierten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,275$) ergab keinen signifikanten Unterschied bezüglich der visuellen Komponente. Mit Blick auf die Händigkeit zeigte sich im dominanten/nicht-dominanten Vergleich (offene Augen $p=0,105$, geschlossene Augen $p=0,160$) kein

signifikanter Unterschied. Ebenfalls nicht signifikant präsentierten sich die Vergleiche auf der dominanten (offen vs. geschlossen $p=0,131$) und der nicht-dominanten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,375$).

4.5 Ergebnisse der Gruppe Schulterstabilisation postoperativ

4.5.1 Anamnese und Klinik

Die postoperativ untersuchte Gruppe der anterioren Schulterinstabilitäten umfasste 10 (9m/1w) Patienten.

Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum OP-Zeitpunkt 29,4 Jahre (20-47 J. Varianzbreite) und zum Untersuchungs- und Messzeitpunkt 31,9 (23-52 J.) Jahre. In 4 von 10 Fällen (40%) war laut Patientenangabe die dominante Schulter, in 6 Fällen (60%) die nicht-dominante Schulter betroffen. Eine Schulterinstabilität trat zu je 50% in der rechten sowie linken Schulter auf. Ein Linkshänder befand sich unter den Patienten. In Bezug auf die Ätiologie lagen in 5 Fällen (50%) posttraumatische Rezidivluxationen, in 3 Fällen (30%) atraumatische, habituelle Luxationen ohne Hyperlaxität und in 2 Fällen (20%) akut-traumatische Erstluxationen vor. Durchschnittlich traten präoperativ $3,4 \pm 1,2$ Re-Luxationen nach Erstluxation auf.

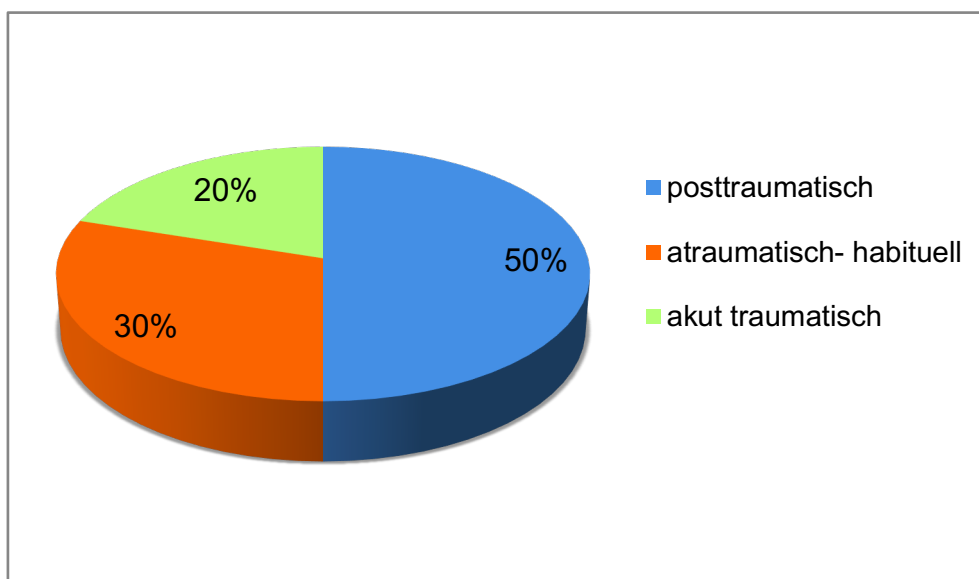


Abb. 24: Ätiologie der Schulterinstabilität

80% der Patienten (n=8) wiesen eine klassische Bankartläsion und 50 % (n=5) eine Hill-Sachs-Läsion loco typico auf. In 2 Fällen (20%) wurde eine SLAP-Läsion (Typ III u. Typ IV) therapeutisch mitversorgt. Bei 4 Patienten (40%) zeigte sich ein fokaler glenoidaler Knorpelschaden (1x Grad I, 3x Grad IV) sowie in 2 Fällen (20%) ein humeraler Knorpelschaden (Grad I). Die Strukturen der RM präsentierten sich intakt. Es traten keine Nervenschäden auf und es lagen keine multidirektionalen Instabilitäten vor. Neben 9 unidirektionalen Instabilitäten (90%) wies ein Patient (10%) zusätzlich zur anterior-inferioren Richtung eine nach posterior-inferior gerichtete Instabilität auf, die operativ mitversorgt wurde.

Zum Untersuchungs- und Messzeitpunkt ($2,6 \pm 1,1$ Jahre postoperativ) klagten 3 Patienten (30%) anamnestisch über leichte Schmerzen (VAS 1-2) sowie ein Patient (10%) über ein persistierendes subjektives Instabilitätsgefühl. In der Untersuchung äußerte sich dies klinisch in einem positiven Apprehension-Test. Die restlichen 9 Patienten (90%) zeigten hier ein negatives Testergebnis. Weitere spezielle Tests mit Hinweisen auf eine Instabilitätssymptomatik (Gagey- und Jerk-Test) und eine Beteiligung der Rotatorenmanschette einschließlich der langen Bizepssehne (Starter-, Jobe-, Belly Press-, Lift-Off-u. Speed's-Test, Innenrotation gegen Widerstand) lieferten durchweg negative Ergebnisse.

In der weiteren körperlichen Untersuchung zeigte die Gruppe der Schulterinstabilitäten in Bezug auf die Beweglichkeit im Schultergelenk ein leichtes Flexionsdefizit von durchschnittlich $4,4^\circ \pm 5,3^\circ$ und in der Extension von $4,5^\circ \pm 5,6^\circ$. In der Abduktionsbewegung $5,0^\circ \pm 5,3^\circ$, Adduktionsbewegung $3,5^\circ \pm 4,1^\circ$ und in der Außenrotation $3,5^\circ \pm 7,5^\circ$. In der Innenrotation erreichten 50% der Patienten mit dem Daumen den interscapulären Bereich, 40% eine Höhe von LWK1 und ein Patient die Höhe S1. Die kontralaterale Schulter präsentierte sich bei allen Patienten symptomlos und frei beweglich.

4.5.2 Scores

Der ungewichtete Constant-Score lag bei der Gruppe Stabilisation postoperativ im Durchschnitt bei $89,0 \pm 10,3$ Punkten, mit einem Median von 92,5 Punkten und Min./Max.-Werten von 64 bzw. 97 Punkten. In der geschlechts- und altersadaptierten Form erreichte die Patientengruppe einen durchschnittlichen Wert von 95,1%. Der Median lag bei 100% und die Min./ Max.-Werte bei 76 bzw. 100%.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
Constant	89,0	10,3	64	97	92,5
Constant – alters- u. geschlechtsadaptiert (in %)	95,1	8,0	76	100	100

Tab. 13: Ergebnisse Constant Score Gruppe Stabilisation postoperativ

Im normierten Constant-Score wurde in 90% der Fälle ein guter bis ausgezeichneter Wert erzielt. Lediglich 10% der Gruppe zeigten ein befriedigendes Ergebnis.

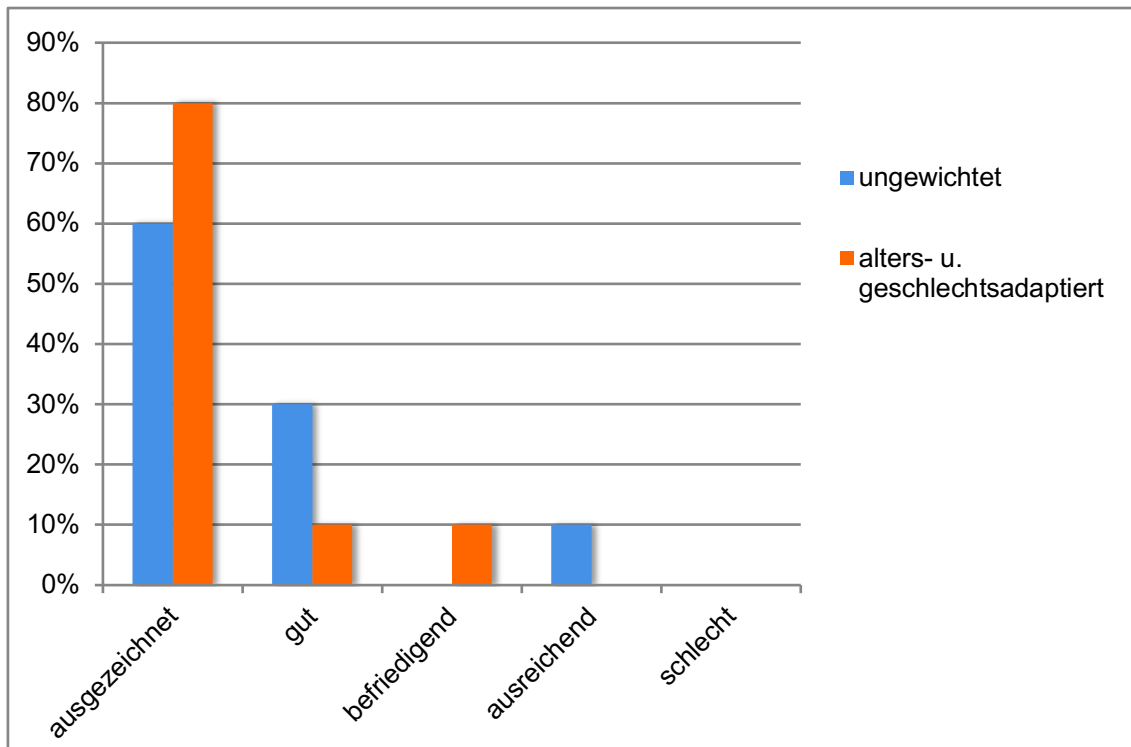


Abb. 25: Bewertung der Constant Score Gruppe Stabilisation postoperativ

ASES Score

Hinsichtlich des ASES Score erreichte die Gruppe im Durchschnitt einen Punktwert von $96,5 \pm 5,2$. Der Median lag bei 99,2 und die Min.-/ Max.-Werte bei 86,7 bzw. 100 Punkten.

Score	Ergebnisse				
	Mittelwert	SD	Min.	Max.	Median
ASES	96,5	5,2	86,7	100	99,2

Tab. 14: Ergebnisse ASES Score Gruppe Stabilisation postoperativ

Alle Patienten der Gruppe zeigten gute bis ausgezeichnete Ergebnisse.

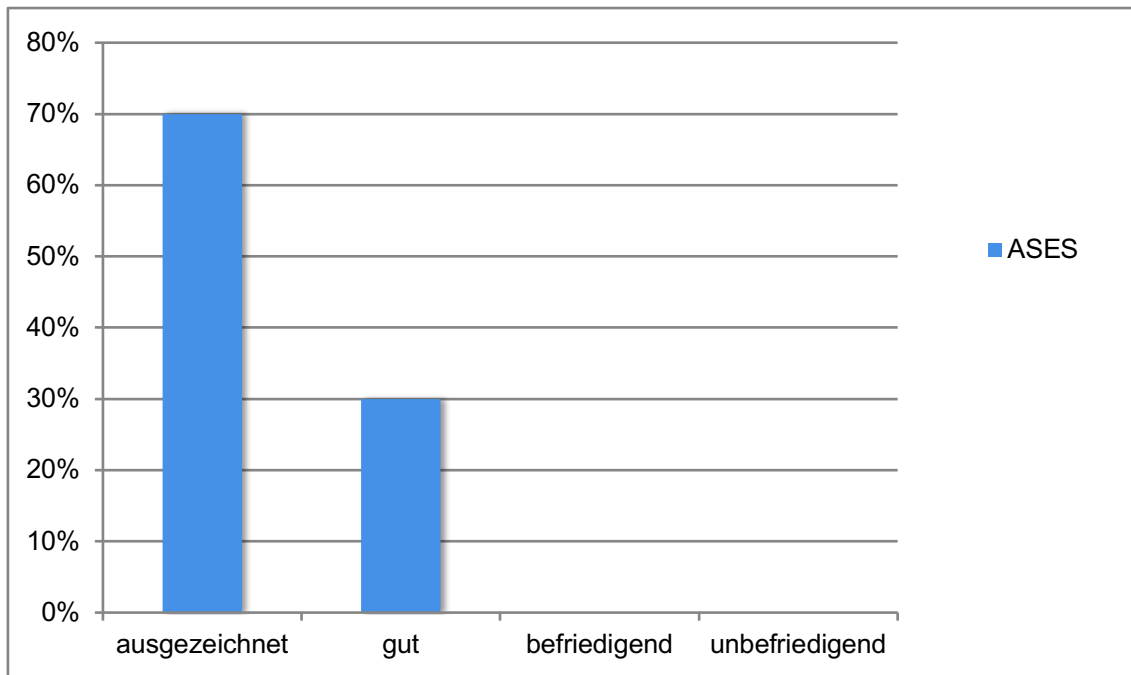


Abb. 26: Bewertung der ASES Score Gruppe Stabilisation postoperativ

VAS

Bei der Auswertung der visuellen Schmerzskala ergab sich ein durchschnittlicher Punktwert von $0,5 \pm 0,8$ mit einem Min.-Wert von 0 und einem Max.-Wert von 2 Punkten.

Score	Ergebnisse			
	Mittelwert	SD	Min.	Max.
VAS	0,5	0,8	0	2

Tab. 15: Ergebnisse VAS Gruppe Stabilisation postoperativ

4.5.3 COP-Messung

Auf der operierten Seite lag der Medianwert mit geöffneten Augen (Op_open) bei 1,16 m [0,93; 1,29] und mit geschlossenen Augen (Op_closed) bei 1,06 m [0,89; 1,21]. Auf der gesunden Seite erreichten die Patienten mit offenen Augen (Non-op_open) 1,02 m [0,92; 1,07] und mit geschlossenen Augen (Non-op_closed) 1,06 m [0,90; 1,16]. Im direkten Vergleich der operierten mit der gesunden Schulter zeigte sich ein signifikanter Unterschied des medianen COP-Wertes ($p=0.006$). Mit geschlossenen Augen ergab sich hierbei kein signifikanter Unterschied ($p=0,375$).

COPxy-Werte	Op_open	Op_closed	Non-op_open	Non-op_closed
Median in m	1,16	1,06	1,02	1,06
[25%; 75%] Perzentile	[0,93; 1,29]	[0,89; 1,21]	[0,92; 1,07]	[0,90; 1,16]

Tab. 16: mediane COPxy-Werte der Gruppe Schulterstabilisation

Der Vergleich der operierten Seite (offene Augen vs. geschlossen $p=0,193$) und der nicht-operierten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,375$) wies keinen signifikanten Unterschied auf. Im dominanten/nicht-dominanten Vergleich (offene Augen $p=0,846$, geschlossene Augen $p=0,770$) trat kein signifikanter Unterschied auf. Ebenfalls nicht signifikant präsentierten sich die Vergleiche auf der dominanten (offen vs. geschlossen $p=0,922$) und der nicht-dominanten Seite (offen vs. geschlossen $p=0,922$).

4.6 Ergebnisse der Gruppen im Vergleich

Im direkten Vergleich der einzelnen Untersuchungsgruppen präsentierten die gesunde Kontrollgruppe zusammen mit der ACG-Gruppe die niedrigsten COP-Werte und somit die geringsten stabilometrischen Abweichungen vom COP. Die insgesamt höchsten COP-Werte (offen und geschlossen) im Gruppenvergleich ergaben die präoperativen Messungen der Patienten mit RMR, gefolgt von der Gruppe der operativ versorgten RM. Bei der Gruppe der Schulterstabilisationen lagen nach den AC-Gelenksläsionen die zweitniedrigsten COP-Werte der untersuchten Patienten vor.

Im Vergleich des sensomotorisch untersuchten Gesamtkollektivs zeigten alle Patientengruppen in der Messesequenz mit offenen Augen höhere COP-Werte auf der operierten Seite im Vergleich zur nicht operierten Seite.

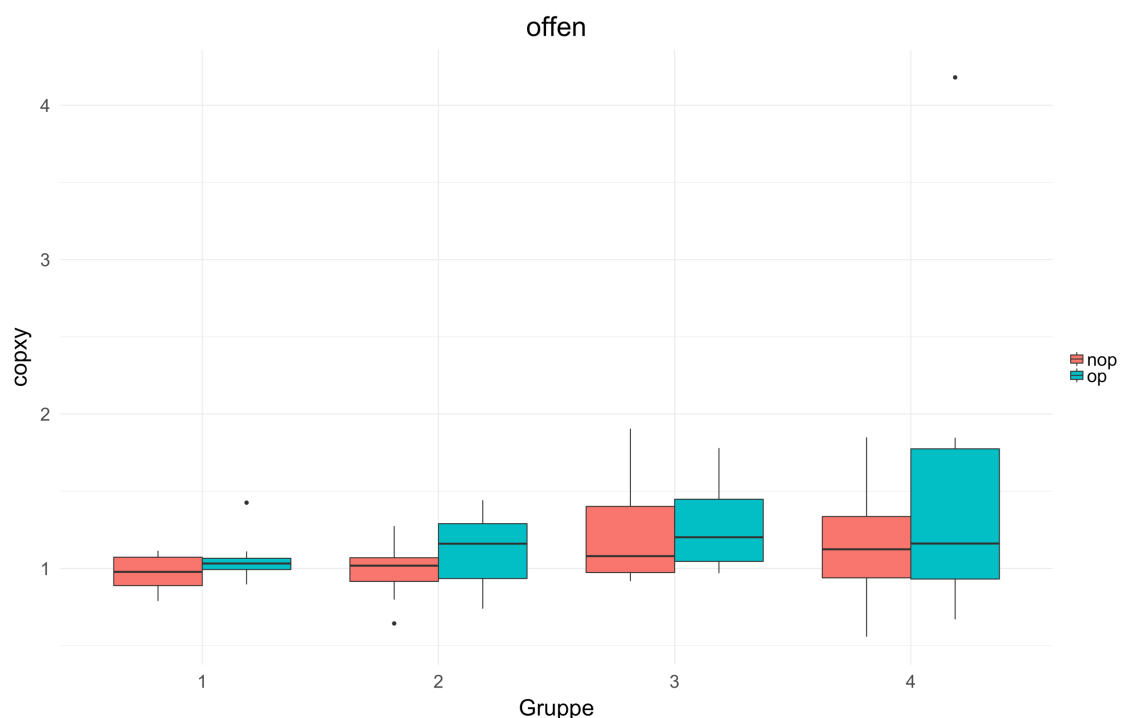


Abb. 27: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert vs. nicht operiert mit offenen Augen
(Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ)

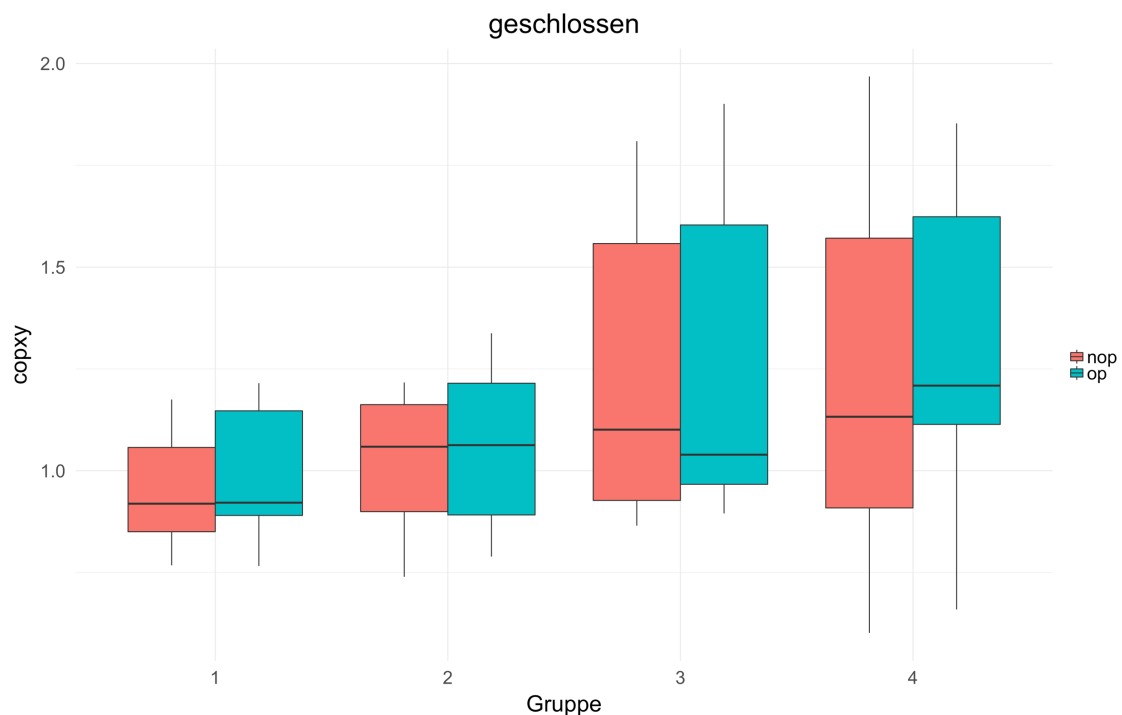


Abb. 28: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert vs. nicht operiert mit geschlossenen Augen (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ)

Bis auf die Gruppe der postoperativen RM wiesen alle Patientengruppen signifikante Unterschiede im Seitenvergleich auf. Am deutlichsten war der Unterschied in der Gruppe der Schulterinstabilitäten ($p=0,006$).

Über alle Gruppen hinweg waren diese COP-Abweichungen im Seitenvergleich hochsignifikant ($p<.0001$).

Das Schließen der Augen führte im Gruppenvergleich der Patienten zu signifikanten Unterschieden zwischen der operierten und nicht operierten Extremität. Innerhalb der einzelnen Gruppen zeigte sich diesbezüglich aber keine Signifikanz.

Sowohl die operierte Seite als auch die nicht operierte Seite isoliert betrachtet präsentierten keine signifikanten Unterschiede bezüglich offener und geschlossener Augen innerhalb der Untersuchungsgruppen.

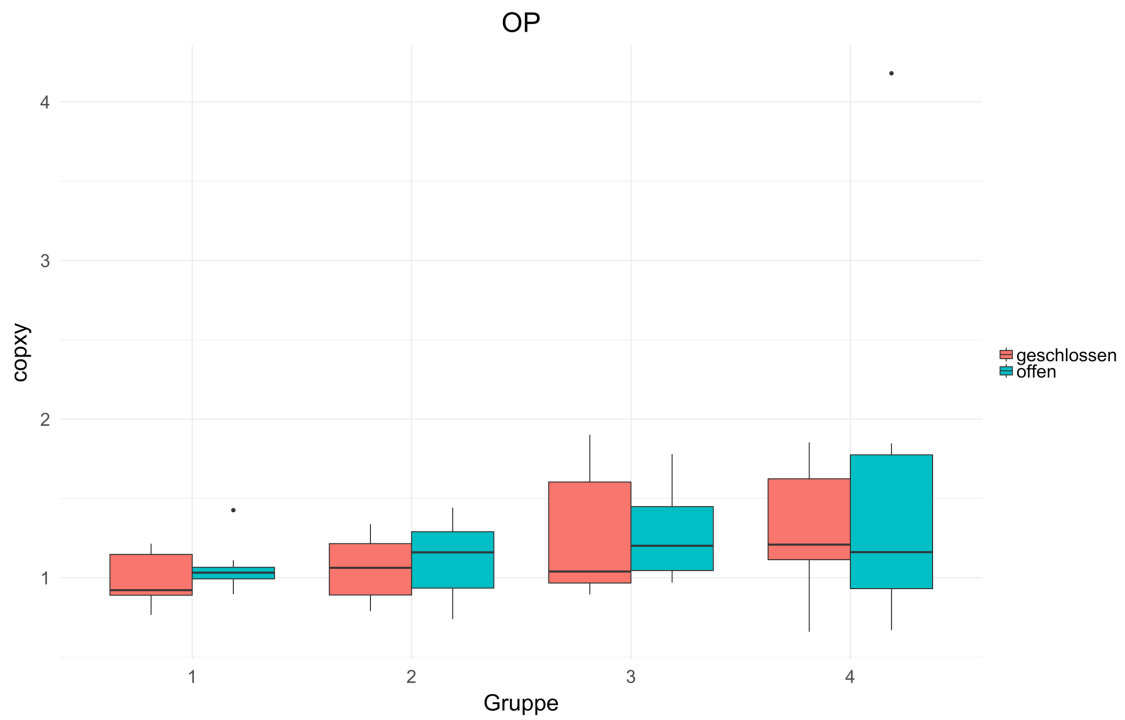


Abb. 29: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert (offene vs. geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ)

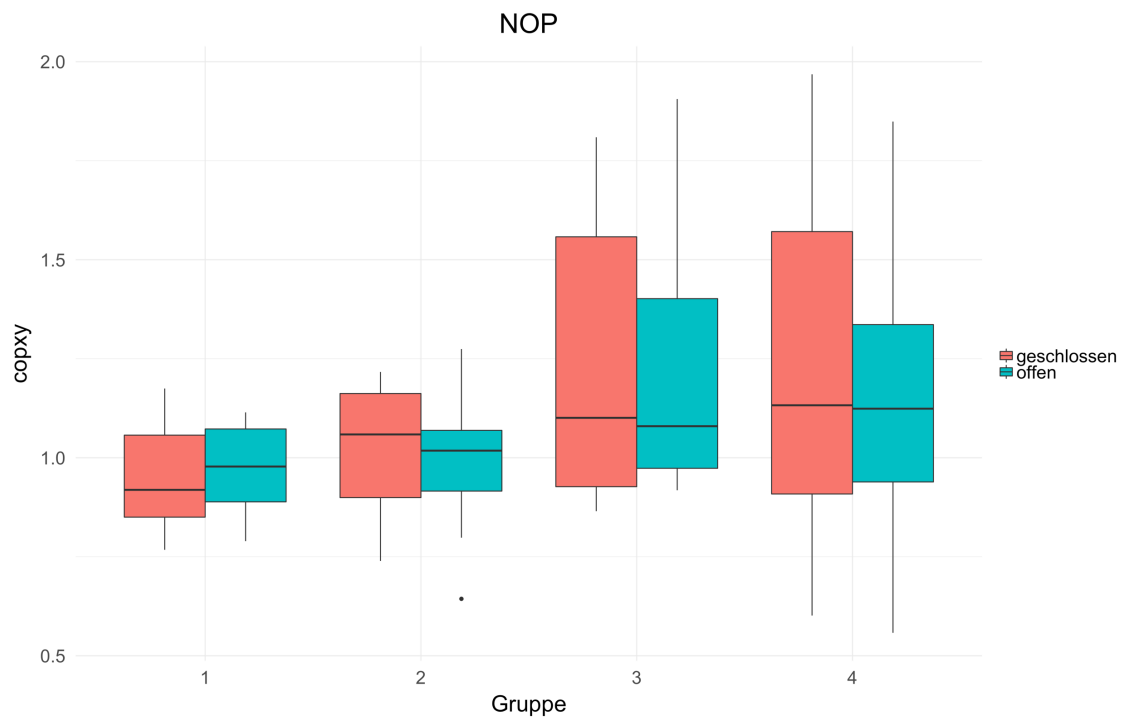


Abb. 30: Boxplot Gruppenübersicht/ nicht operiert (offene vs. geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ)

Bei der Einteilung der Extremitäten nach ihrer Händigkeit zeigten der allgemeine Patientengruppenvergleich und die Gruppe der präoperativen RM signifikante Seitendifferenzen auf der dominanten gegenüber der nicht-dominanten Seite. Mit geschlossenen Augen stellten sich hierbei keine Unterschiede dar.

In der Kontrollgruppe zeigten sich diesbezüglich keinerlei signifikante Unterschiede im Seitenvergleich.

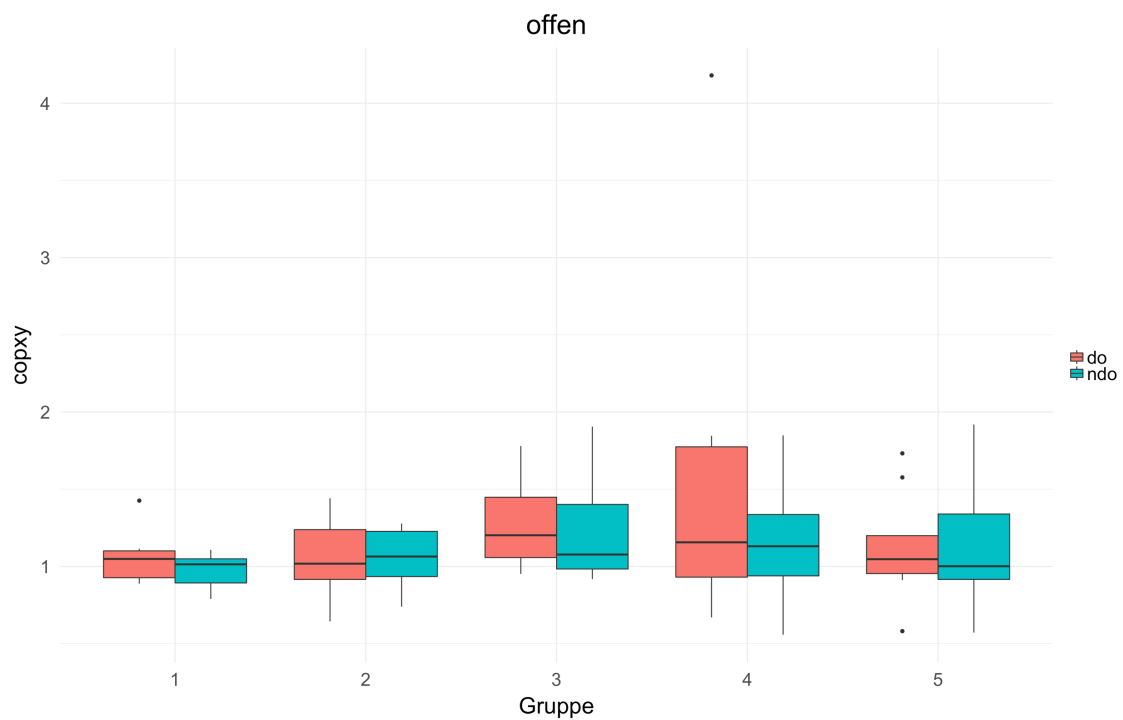


Abb. 31: Boxplot Gruppenübersicht/ dominant vs. nicht-dominant mit offenen Augen (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ, Gruppe 5: Kontrollgruppe)

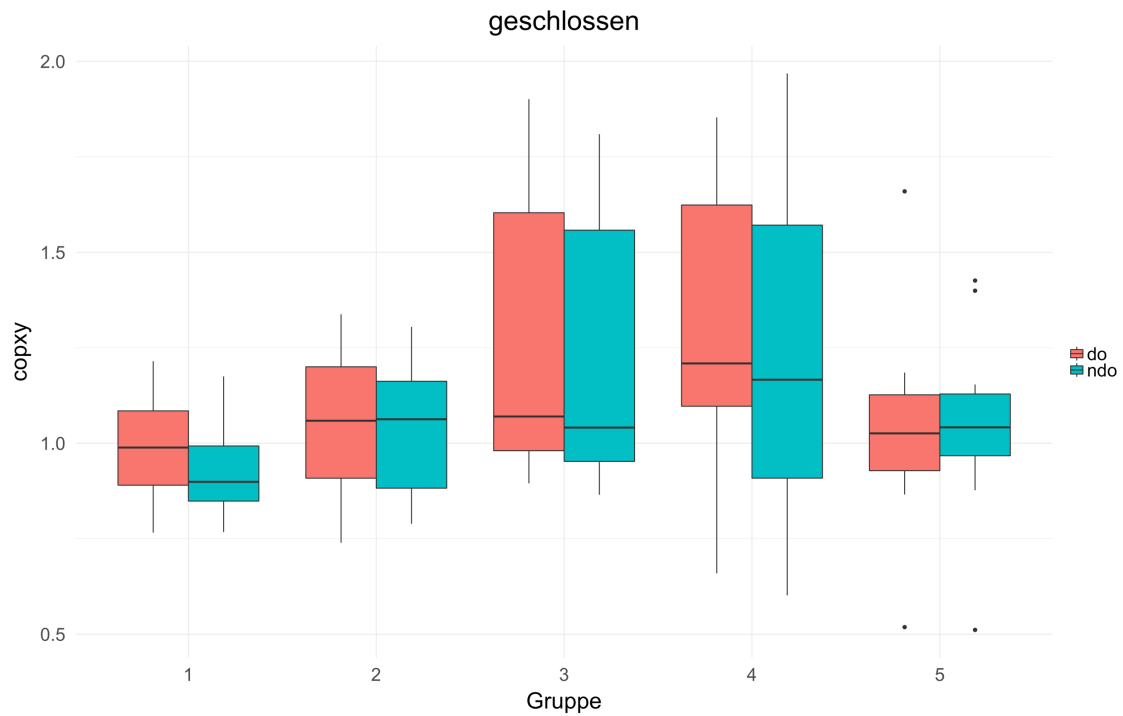


Abb. 32: Boxplot Gruppenübersicht/ dominant vs. nicht-dominant (geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ, Gruppe 5: Kontrollgruppe)

Hinsichtlich der klinischen Ergebnisse präsentierten alle postoperativ evaluierten Gruppen mehrheitlich gute bis ausgezeichnete Wertungen des Constant- u. ASES-Score.

Die folgenden zwei Grafikbeispiele eines Patienten mit der gesunden Seite und nachfolgend operierten Seite zeigen die zum Teil deutlichen Unterschiede (sichtbar höhere Signalbreite beider COP-Parameter und größerer Streuungsbereich im Kurvenverlauf des COPx-Graphen in Abb. 50) im Schwankungsverhalten.

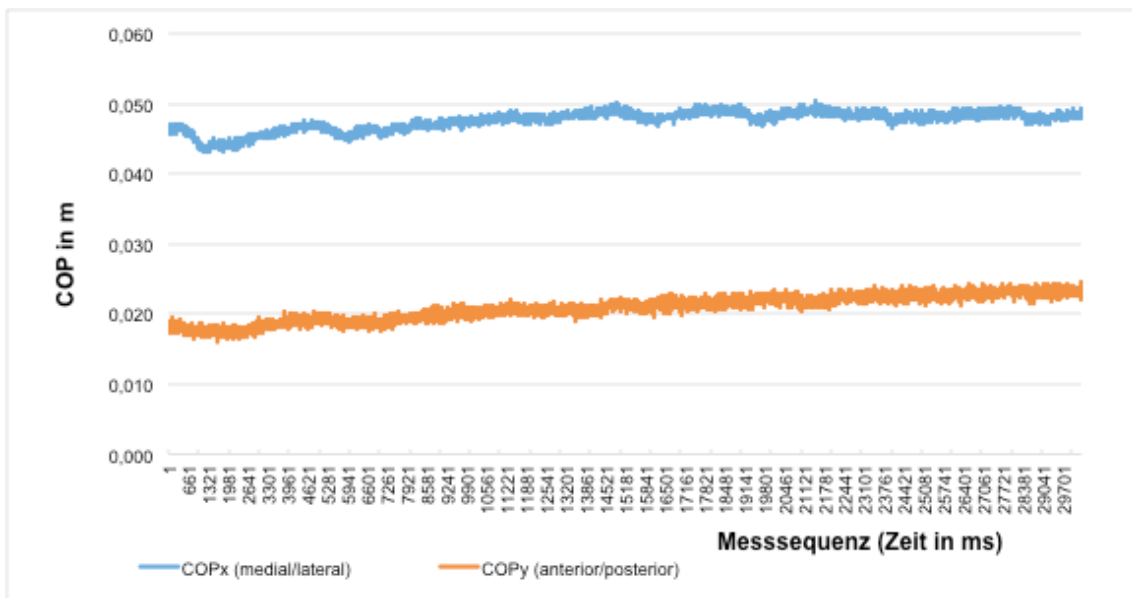


Abb. 33: Beispielgrafik einer Messequenz-Aufzeichnung über 30 sec mit niedrigeren Abweichungen (gesunde Schulter links)

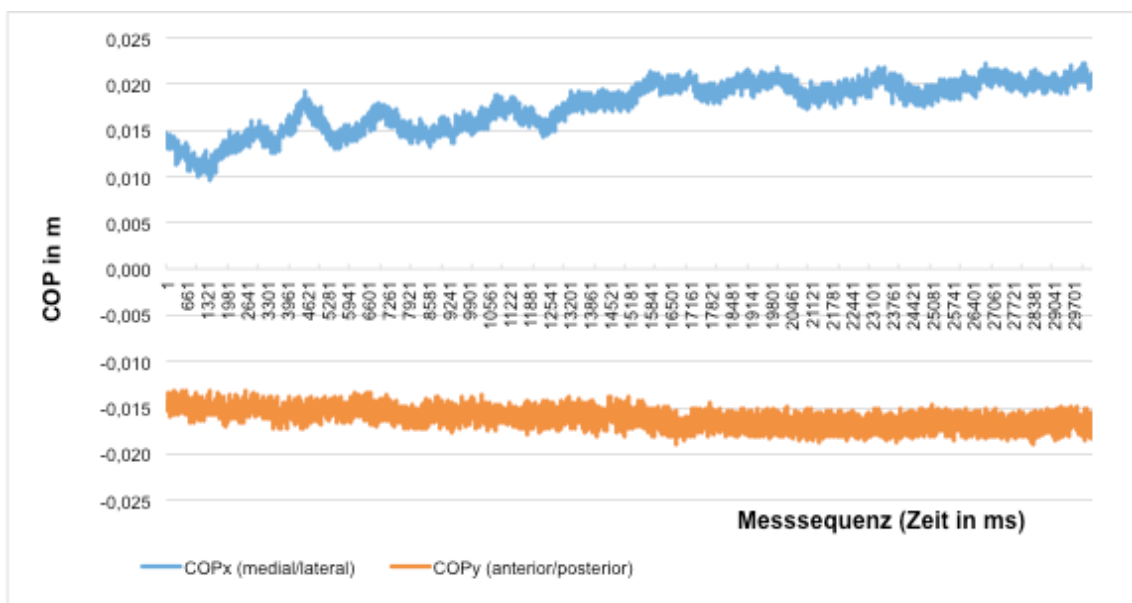


Abb. 34: Beispielgrafik einer Messequenz-Aufzeichnung über 30 sec mit höheren Abweichungen (operierte Schulter/ RM postoperativ rechts)

5 Diskussion

5.1 Material und Methode

Um einen möglichst homogenen Vergleich der sensomotorischen Messuntersuchung zu gewährleisten, wurden diesbezüglich strenge Auswahl- und Einschlusskriterien gewählt. Dies stellte insbesondere bei der Teilnehmerauswahl der präoperativ analysierten RM-Patienten ein großes Hindernis dar. Eine schmerzfreie Messsequenz, als Grundvoraussetzung der Versuchsdurchführung, konnte bei vielen Probanden nicht durchgeführt werden. Diese wurden explizit ausgeschlossen, um Verzerrungen zu vermeiden.

Im Hinblick auf die globale, sensomotorische Funktionsfähigkeit hat sich bislang kein standardisiertes Analyseverfahren etabliert. In Bezug auf einzelne Teilkomponenten der Sensomotorik existieren vielmehr zahlreiche Verfahren mit unterschiedlichen Schwerpunkten in der Messmethodik (siehe Kapitel 2.1). Die Untersuchung der sensomotorischen Funktion des Schultergelenks wurde bisher hauptsächlich anhand JPS- und Kinästhesie-Untersuchungen durchgeführt (Ager et al. 2017; Goble 2010; Herrington et al. 2010; Lephart et al. 1994; Pötzl et al. 2004; Sullivan et al. 2008; Ulkar et al. 2004). Dabei handelt es sich jedoch um Messverfahren, die lediglich Auskunft über die propriozeptive Teilfunktion geben. Der Untersucher erhält bspw. isolierte Informationen über einzelne afferente Signalwege. Han et al. (2016) kritisieren, dass hierdurch keine Rückschlüsse auf die efferente, motorische Signalschleife gezogen werden können. So gibt z.B. die Untersuchung des propriozeptiven Stellungssinnes allein, durchgeführt durch Reproduktion vorgegebener Gelenkwinkelstellungen, keine Auskunft bezüglich der efferent motorischen Antwort auf eine Störung des Gleichgewichts oder über die Funktionsfähigkeit gelenkstabilisierender, muskulärer Aktivitäten wie die Koaktivierung der Rotatorenmanschette. Ebenfalls besitzen isolierte EMG-Untersuchungen in statischen Messpositionen kaum Aussagekraft über die Qualität der efferenten, neuromuskulären Kontrolle im Rahmen der dynamischen Gelenkstabilisierung.

Fabis et al. (2016) stellten fest, dass selbst innerhalb der einzelnen, propriozeptiven Verfahren Uneinigkeit über die genaue Verfahrensweise herrscht. So gibt es bislang keine einheitlichen, technischen Messstationen. Bei der Testung des Stellungssinns mit der vielfach verwendeten JPS-Messung gibt es bspw. unterschiedliche Auffassungen über generelle Messpositionen und die genauen Gelenkwinkel der Messungen (Fabis et al. 2016).

Generell gilt die Umsetzung der Propriozeptionsmessung als schwierig, was an den zahlreichen, verfügbaren Methoden zu beobachten ist (Anderson & Wee 2011; Boerboom et al. 2008). Oftmals finden die Tests an eigens entwickelten Messeinrichtungen statt (Boerboom et al. 2008; Friden et al. 2001), was eine Vergleichbarkeit und Validierung der diversen Systeme zusätzlich erschwert.

Han et al. (2016) kritisieren die Vorgehensweise, über einzelne Signalwege auf das Gesamtsystem zu schließen. Des Weiteren halten sie eindimensionale, propriozeptive Messergebnisse für nicht übertragbar auf alltags- und sportmotorische Situationen. Riemann et al. (2002) kommen zu ähnlichen Schlüssen und empfehlen mangels ganzheitlicher Messverfahren zumindest einzelne Testmethoden zu kombinieren, um deren Aussagefähigkeit im Gesamtkontext der Sensomotorik zu erhöhen.

Die in dieser Studie genutzte Messtechnik zur Bestimmung der COP-Variation kommt im Rahmen der Sensomotorikmessung schon Jahrzehnte zur Anwendung (Collins & De Luca 1993). Sie blieb dabei bisher stets auf die untere Extremität beschränkt. Edouard et al. (2012, 2014) unternahmen erstmals den Versuch diese Art der Sensomotorik-Messung auch auf die obere Extremität zu übertragen und zeigten ihre Durchführbarkeit und Reliabilität auf. Sie untersuchten 32 Patienten mit unilateraler, anteriorer Schulterinstabilität und konnten signifikante Unterschiede bzgl. der neuromuskulären Stabilisationsfähigkeit der betroffenen Schulter im Vergleich zur gesunden Seite aufzeigen (s. Kapitel 5.3). Sie betrachten die COP-basierte Messung als praktisches Messinstrument zur Evaluation der globalen, sensomotorischen Schulterfunktion. Neben dem sensorischen, afferenten Signal-Input werden dabei ebenso die zentrale Verschaltung der Informationen sowie durch die Berücksichtigung der Gleichgewichtsreaktionen, die neuromuskulären Efferenzen erfasst. Somit findet eine Integration der gesamten, geschlossenen Signalkette statt.

Die verwendete Ausgangsstellung stellt eine Komplexbewegung dar. Sie erfordert sowohl statische Haltearbeit des gesamten oberen Rumpfes als auch die Fähigkeit der aktiv-dynamischen Gelenkstabilisierung zur Kontrolle der Körperhaltung. Ein hohes Maß an Stabilität des Schultergürtels, insbesondere des „scapula setting“, ist Grundvoraussetzung zur Einhaltung einer ruhigen Messposition und sorgt für eine adäquate Kraftübertragung der Extremität auf den oberen Rumpf.

Zahlreiche Autoren, darunter Rubin & Kibler (2002) und Jaggi & Lambert (2010), betonen die essentielle Bedeutung der globalen Rumpfstabilität mit einer optimalen Scapulabewegung. Das scapulothorakale Gelenk ermöglicht die präzise Positionierung der Schultergürtelmuskulatur im Hinblick auf eine stabilisierende und physiologische Schulterfunktion (Wilk & Arrigo 1993).

In Bezug auf die Untersuchungsposition kann kritisch angemerkt werden, dass sie in dieser Form eine vermeintlich weniger typische alltägliche Belastungssituation darstellt, da die hauptsächliche Schulteraktivität durch dynamische Bewegungsmuster charakterisiert ist. Wobei Stützmuster sowohl in Alltags- (z.B. reaktive Abfangbewegungen, statische Stützbewegung bei Reinigungsarbeiten am Boden) als auch in sportlichen Situationen (Funktionsgymnastik, Liegestützaktivitäten) durchaus häufig Verwendung finden. Weiter gelten Stützaktivitäten der oberen Extremität als zentrales Element in der Rehabilitation nach Schulterverletzungen. Tripp (2008) weist explizit auf die Bedeutung von Trainingsformen in der geschlossenen Kette hin. Vergleichbar mit der unteren Extremität besitzt dieses Aktivitätsmuster einen großen Stellenwert im Hinblick auf die axiale Belastung und die damit verbundene Koaktivierung der Rotatorenmanschette sowie die Reduzierung deutlich größerer glenohumeraler Scherbelastungen in der Frührehabilitation während Übungsformen in der offenen Kette.

Eine standardisierte, statische Messposition ist einerseits wichtig, um eine entsprechende Vergleichbarkeit zu gewährleisten, andererseits liefert sie auch Informationen über die Stabilisationsfähigkeit des Probanden über ein längeres Zeitintervall (hier 30 sec.) und erfasst somit auch den Ermüdungsfaktor des neuromuskulären Systems.

Schwächen dieser Studie ergeben sich zum einen aus der Inhomogenität der Krankheitsbilder in Bezug auf die verletzten Strukturen und die Ursachen jener Läsionen. So weisen beispielsweise die beiden Gruppen mit RM-Rupturen sowohl kombinierte (z.B. Massenrupturen) als auch isolierte Rupturen (z.B. isolierte Läsion des M. subscapularis) auf, die sich im Hinblick auf ihre Ätiopathogenese unterscheiden. Hierbei zeigen sich neben degenerativ vorgeschädigten Muskel-Sehnen-Strukturen mit plötzlichem Schmerzbeginn durch Alltagsbelastungen, auch traumatische RM-Rupturen nach Sturzereignissen. Zum anderen liegen deutliche Differenzen hinsichtlich der Altersstruktur und somit auch des Leistungsstandes der Untersuchungsgruppen vor. Aufgrund des pathogenetisch beteiligten Alterungsprozesses bei den meisten RM-Rupturen, liegt hier erwartungsgemäß die Altersstruktur deutlich höher als beispielsweise bei der jüngeren ACG-Patientengruppe, die sich ihre Verletzung ausschließlich bei Stürzen im Rahmen von sportlichen Aktivitäten zuzog.

Als limitierender Faktor in Bezug auf die Sensomotorik-Messung muss konstatiert werden, dass aufgrund organisatorischer Gegebenheiten die postoperativ analysierten Gruppen nicht vor der Operation sowie die präoperative RM-Gruppe nicht postoperativ gemessen werden konnten. Somit war hier kein direkter Vergleich der operierten Seite möglich.

Zusätzlich kann als Limitation im Hinblick auf die statistische Aussage die Anzahl der Testpersonen betrachtet werden. Die Studie wurde zwar insgesamt mit einer umfangreichen Teilnehmerzahl (n=50) durchgeführt, aber bezogen auf die einzelnen Untersuchungsgruppen ist die Teilnehmerzahl gering. Des Weiteren handelt es sich um eine Querschnittsstudie, wodurch das Messergebnis lediglich für den Zeitraum der Erhebung gilt. Es bleibt damit offen inwieweit es auf andere Zeitpunkte übertragbar ist und auch in welcher Form die Altersunterschiede die Ergebnisse beeinflussen.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit lag keine vergleichbare Studie vor, welche diese Messmethodik in dieser Größenordnung und speziell nach operativen Eingriffen an der oberen Extremität angewandt hat. Die vorliegende Arbeit besitzt diesbezüglich Pilotcharakter. Ein prospektives Langzeit-Follow Up mit prä- und postoperativen Messungen sollte hier nächstes Ziel sein um die

Ergebnisse bestätigen und intra- und interindividuelle Unterschiede identifizieren zu können.

5.2 Diskussion der Ergebnisse der Kontrollgruppe

In der Kontrollgruppe wurde die dominante Seite mit der nicht-dominanten Seite verglichen. Hierbei ergaben sich keinerlei signifikante Unterschiede im Seitenvergleich. Diese Resultate stimmen dahingehend mit bisherigen Arbeiten zu Propriozeptionsmessungen überein (u.a. Voight et al. 1996; Aydin et al. 2001; Safran et al. 2001; Fremerey et al. 2005; Anderson et al. 2011).

Die gesunden Probanden präsentierten insgesamt niedrige COP-Werte und daher geringe stabilometrische Abweichungen. Die Ergebnisse der Kontrollgruppe von Edouard et al. (2014) konnten durch die Resultate der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Es traten keine Unterschiede im Seitenvergleich auf und weder die Dominanz noch die visuelle Komponente zeigten einen Einfluss auf das Messergebnis.

In der Zusammenschau ergaben sich somit keinerlei Hinweise auf einen sensomotorischen Funktionsverlust.

5.3 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe RM präoperativ

Die Gruppe RM präoperativ stellt insofern eine Besonderheit dar, als dass sie als einzige Teilnehmergruppe vor der geplanten operativen Versorgung die sensomotorische Messuntersuchung absolvierte.

Wichtige Voraussetzung der sensomotorischen Testung war die möglichst schmerzarme Einhaltung der Messposition. Dies erfüllten insgesamt wenige Patienten mit RM-Rupturen, was die Erhebung des präoperativen Status bzw. die Auswahl geeigneter Patienten grundsätzlich erschwerte. Es sei angemerkt, dass sich in diesem Kollektiv leichte Schmerzsignale nicht gänzlich eliminieren ließen.

Die Gruppe der präoperativen RM-Patienten wies über alle Gruppen hinweg die insgesamt höchsten COP-Abweichungen (inkl. höchstem medianen COP-Wert an der verletzten Extremität mit geschlossenen Augen) und somit das größte Schwankungsverhalten auf. Auch im Vergleich zur kontralateralen Schulter zeigten sich signifikante Seitendifferenzen.

Dies überrascht nicht sonderlich, führt man sich vor Augen, dass auch nach operativer Rekonstruktion erhöhte sensomotorische Abweichungen und signifikante Seitenunterschiede festgestellt werden konnten.

Aufgrund des vorliegenden Gewebeschadens kommt es zu Schmerzsymptomatik, Koordinations- u. Kraftdefiziten (Rokito et al. 1996; MacDermid et al. 2004), reduzierten sensorischen Gelenkafferenzen, verlangsamten efferenten Signalwegen und somit zu sensomotorischen Funktionsverlusten des Gelenks (Myers et al. 2008).

Jedweder Gelenkschmerz kann bereits zu Störungen der neuromuskulären Kontrollfähigkeit führen und ein Verlust der funktionellen Stabilität im entsprechenden Gelenk bedeuten. Safran et al. (2001) untersuchten professionelle Baseball Pitcher und beschrieben den Schmerz als Ursache der propriozeptiven Funktionsverluste. Kritisch angemerkt sei hierbei, dass lediglich der Stellungssinn analysiert wurde. Sie vermuteten, dass die erhöhte nozizeptive Aktivität zu einer Verringerung an propriozeptivem Input führe. Die Arbeitsgruppe um Ben-Yishay (1994) schaltete mithilfe eines applizierten

Lokalanästhetikums den Schulterschmerz bei 14 Patienten mit Impingement-Syndromen/ RM-Rupturen aus und konnte deutliche Verbesserungen hinsichtlich Kraft und Beweglichkeit der betroffenen Schultergelenke aufzeigen. Shinozaki et al. (2014) untersuchten 9 Patienten mit RM-Komplettruptur mithilfe eines PET-MR und konnten sowohl verringerte als auch überschießende muskuläre Aktivitäten der RM und der schulterumgebenden Muskulatur feststellen. Sie schlussfolgerten, dass Patienten mit schmerzhafter RM ihre periscapuläre Schultermuskulatur verstärkt benutzen. Dies spiegelt die Beobachtungen der in dieser Studie durchgeführten Messungen durchaus wider und wäre ein möglicher Hinweis auf das erhöhte Schwankungsverhalten in der COP-Analyse präoperativer Patienten.

Die Arbeitsgruppe um Kelly (2005) untersuchte bei Patienten mit symptomatischer RM-Pathologie Rotations- u. Elevationsbewegungen und konnte diesbezüglich pathologisch veränderte EMG-Muster, insbesondere des SSP, ISP und SSC, aufzeigen (siehe auch Kapitel 5.4, S.89). Diese veränderten Innervationsmuster zeigten sich hierbei auch in einer insuffizienteren Koaktivierung der RM, welche ebenfalls zu höheren COP-Abweichungen bei Patienten mit RM-Pathologie beitragen könnte. Einschränkend muss berücksichtigt werden, dass die Patientenzahl sehr gering war (n=6) und sich Abweichungen des EMG nicht mit denen des COP vergleichen lassen.

Anderson & Wee (2011) testeten bei 26 Patienten mit chronischer RM-Läsion den propriozeptiven Stellungsinns in unterschiedlichen Bewegungsgraden und konnten speziell in höheren Elevationswinkel Störungen des Positions- u. Lagesinns aufzeigen. Als weitere Teilqualität der Propriozeption bestimmten Maenhout et al. (2012) den Kraftsinn bei Patienten (n=36) mit RM-Tendinopathie. In verschiedenen Rotationsgraden wurde untersucht, wie präzise ein bestimmter, isometrischer Kraftwert reproduziert werden konnte. Auch sie konnten veränderte, muskuläre Koordinationsmuster bei RM-Läsionen aufzeigen. Im Vergleich zur vorliegenden COP-Messmethodik, müssen diese eindimensionalen Propriozeptionsmessungen im Hinblick auf ihre Aussagekraft für die globale sensomotorische Signalschleife jedoch kritisch betrachtet werden.

Grundsätzlich finden sich in der Literatur nur vereinzelt Untersuchungen, die sich den propriozeptiven Qualitäten bei Patienten mit RM-Rupturen widmen. Darüber hinaus gibt es derzeit keine wissenschaftliche Arbeit mit umfassenderen sensomotorischen Funktionsuntersuchungen bei Patienten mit RM-Rupturen.

5.4 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe RM postoperativ

Die Gruppe der rekonstruierten Rotatorenmanschetten zeigte im postoperativen Patientenvergleich die höchsten Abweichungen vom COP und damit das größte sensomotorische Defizit. Der Seitenvergleich wies im Gegensatz zu den anderen Gruppen allerdings keinen signifikanten Unterschied der operierten vs. nicht-operierten Seite auf.

Die Rotatorenmanschette nimmt entscheidenden Einfluss auf die Sensomotorik des Schultergelenks und besitzt eine führende Funktion innerhalb der aktiven Stabilisatoren (Borsa et al. 1994). Ihr kommt somit eine elementare Bedeutung hinsichtlich der korrekten Positionierung des Humeruskopfes in der Fossa glenoidalis zu. Speziell in mittleren Gelenkwinkeln, bei relativ laxer Kapselspannung, sorgt sie für einen zentrierenden Effekt (Bigliani et al. 1996). Ein weiterer essentieller gelenkstabilisierender Mechanismus stellt die Funktion der muskulären Koaktivierung dar. In diesem Zusammenhang sprachen Inman et al. (1944) erstmals von den sogenannten „force couples“, die eine Art intermuskuläres Kräftegleichgewicht darstellen (Wilk et al. 1997).

Bei Abduktion durch den M. deltoideus zentrieren und kaudalisieren die unteren Anteile des SSC, ISP und TM den Humerus in der Transversalebene, während in der Frontalebene der SSC die Kräfte der dorsalen RM-Anteile balanciert (Liem & Scheibel 2017). Aus dieser synergistischen Koaktivierung der RM resultiert ein gelenkkomprimierender Effekt und schafft somit eine maximal mögliche Kongruenz der Gelenkpartner (Myers et al. 2008). Kommt es zu einer Störung dieser Kräftebalance, bspw. durch ein Trauma oder einer muskulären Dysbalance, verändert sich die glenohumerale Arthrokinematik mit negativen Folgen für die sensomotorische Funktionsfähigkeit. In der verwendeten Ausgangsstellung der Messequenz spielt dieses Innervationsmuster aufgrund der Stützbelastung in der geschlossenen Bewegungskette eine wichtige Rolle. Liegen Störungen dieser intermuskulären Koordinationsmuster vor, hat dies Auswirkungen auf die propriozeptiven Signalwege und es ist ferner mit einem erhöhten Schwankungsverhalten des Patienten zu rechnen (Andrade et al.

2011; Uhl et al. 2003).

Ein zusätzlich stabilitätssichernder Mechanismus stellt die gemeinsame Insertion der RM-Sehnen in der glenohumeralen Kapsel dar. Über eine simultane Aktivierung erzeugt die RM eine erhöhte Kapselspannung und somit eine zentrierende Kraftkomponente auf das Caput Humeri in Richtung Glenoid (Cain et al. 1987; Wilk et al. 1997).

Durch die damit erzeugte Gewebedeformation, verstärken sich nebenbei die afferenten, propriozeptiven Signale. Neben dem sensorischen Input des Kapselbandapparats, spielen zusätzlich die muskulotendinösen Mechanorezeptoren eine wichtige Rolle. So entstehen über sogenannte Reflexbögen (Feedback- and Feedforward- Mechanismen) (Riemann et al. 2002) wichtige neuromuskuläre Funktionseinstellungen wie bspw. die Regulation des muskulären Spannungszustandes („stiffness“). Diese erhöhte Steifigkeit im Sinne einer Voraktivierung schützt das Gelenk vor Überdehnung, erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Störungseinflüsse von außen und senkt die Latenzzeit der efferenten Reflexantwort (Myers et al. 2000, 2008). Es ist anzunehmen, dass speziell auf neuronaler Ebene Defizite der Sensomotorik auch nach operativer Rekonstruktion der stabilisierenden Gewebestrukturen verbleiben.

Des Weiteren ist davon auszugehen, dass Veränderungen der muskulären Aktivität die sensomotorische Funktion negativ beeinflussen. Kelly et al. (2005) konnten in ihrer Bewegungsanalyse mittels EMG-Messung bei Patienten mit RM-Pathologien deutlich gestörte Aktivierungsmuster (sowohl überschießende, als auch verringerte Aktivitäten) der schulterumgebenden Muskulatur, insbesondere der RM aufzeigen. Diese muskulären Dysbalancen gehen höchstwahrscheinlich ebenfalls mit einer defizitären neuromuskulären Kontrollfähigkeit einher. Da es sich hier ausschließlich um präoperative Untersuchungen handelte, bleibt unklar inwiefern und in welchem Zeitraum diese pathologischen Muster postoperativ persistieren.

Zusätzlich könnten qualitative Veränderungen der Muskelstruktur weitere Hinweise für größere COP-Abweichungen geben. Länger bestehende Sehnenrupturen mit höheren Retraktionsgraden führen laut Gerber et al. (2004) zu teils irreversiblen Veränderungen der Muskulatur. Der Verlust von Elastizität

und Kontraktilität könnte zu Beeinträchtigungen muskulärer Reflexmuster und efferenter Signalwege führen.

Im Gegensatz zu den vorherigen Gruppen zeigten sich bei den RM-Patienten keine signifikanten Unterschiede im Seitenvergleich. Dies könnte mit der Tatsache zusammenhängen, dass Patienten mit RM-Rupturen sehr häufig auch auf der Gegenseite Läsionen aufweisen (Liem et al. 2014). Allerdings besteht keine Korrelation zwischen der Verletzung und der Symptomatik (Yamamoto et al. 2010). Alle Teilnehmer präsentierten asymptomatische und frei bewegliche, kontralaterale Schultern. Dennoch zeigten sich höhere COP-Abweichungen auch auf der „gesunden“ Seite. Daher ist es vorstellbar, dass bspw. degenerative Vorschädigungen hier zu einem höheren Schwankungsverhalten geführt haben könnten.

Da die Prävalenz der RM-Rupturen ab dem 50. Lebensjahr zunimmt (Magosch 2017), ist der Altersdurchschnitt der postoperativen RM-Gruppe im Vergleich zur ACG- u. Stabilisationsgruppe deutlich höher. Dies hat in aller Regel Auswirkungen auf das körperliche Leistungsniveau und könnte die größeren COP-Abweichungen zusätzlich beeinflusst haben.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich insbesondere bei Beteiligung der RM größere Defizite der sensomotorischen Funktionsfähigkeit manifestieren und trotz operativer Therapie bestehen bleiben können.

Unklar bleibt, inwiefern eine autonome Reorganisation des Gewebes im zeitlichen Verlauf stattfindet oder z.B. rehabilitative Maßnahmen diese Defizite verringern bzw. beheben können.

Es wird zahlreich über das gute klinische Outcome nach operativer RM-Rekonstruktion berichtet (Anderson et al. 2006; Lafosse et al. 2007; Aleem et al. 2012; Bond et al. 2018). Agout et al. (2018) beschreiben in einer aktuellen, großen Übersichtsarbeit positive Langzeitergebnisse und betonen trotz unterschiedlicher Rupturformen die insgesamt guten funktionelle Resultate der operativen Therapie, was die sensomotorischen Analysen in der hier vorliegenden Arbeit nicht vergleichbar widerspiegeln. Zusätzlich muss konstatiert werden, dass in keiner der angeführten Arbeiten eine spezielle Analyse der sensomotorischen Funktionsfähigkeit durchgeführt wurde, sondern die Funktion hauptsächlich mithilfe allgemeiner Score-Ergebnisse beurteilt wurde.

Generell ist derzeit keine Studie bekannt, die sich explizit dem Thema der propriozeptiven Funktion und dem Zustand der Sensomotorik nach RM-Rekonstruktion gewidmet hat. Weitere Arbeiten hierzu wären wünschenswert, um die Ergebnisse dieser Studie gezielter einordnen zu können.

5.5 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe ACG

Die Untersuchungsgruppe mit Luxationsverletzungen des AC-Gelenks vom Typ Rockwood VI und V zeigte im Vergleich aller Patientengruppen die mit Abstand niedrigsten Abweichungen vom COP, sowohl auf der operierten als auch der gesunden Seite. Dies mag aufgrund der Schwere der Verletzung und der einwirkenden Kräfte auf das AC-Gelenk verwundern, speziell in Situationen mit hoher Stützbelastung. Über die absolute OP-Indikation der AC-Gelenksverletzungen vom Rockwood Typ VI und V herrscht u.a. wegen der hohen Instabilität genereller Konsens (Beitzel et al. 2013; Braun et al. 2015; Tauber 2013). Doch vergleichbar niedrige COP-Werte lagen lediglich in der gesunden Kontrollgruppe vor.

Trotzdem zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Vergleich der operierten zur gesunden Seite. Unklar bleibt wieso dieser Unterschied bei geschlossenen Augen nicht sichtbar wurde. Überraschenderweise sind die COP-Werte bei den Messequenzen mit geschlossenen Augen sowohl auf der operierten wie gesunden Seite niedriger als mit geöffneten Augen und die Patienten zeigten somit ein geringeres Schwankungsverhalten. Welche wichtige Rolle das visuelle System zur Aufrechterhaltung der Körperposition spielt, ist seit langem bekannt (Edward 1946). Aufgrund der Bedeutung der visuellen Kontrolle speziell im Sinne der Blickstabilisierung in Gleichgewichtssituationen wären hier eher höhere COP-Werte und eine labilere Position erwartet worden. Wobei diesbezüglich dem peripheren Blickfeld ein größerer Einfluss zukommt als dem zentralen Blickfeld, wie Horiuchi et al. (2017) zusammenfassen. Aufgrund der hier vorliegenden Testposition und der Blickrichtung des Patienten auf kurze Distanz zwischen seine Hände, kann das Ausmaß des peripheren Blickfeldes aber als eher gering betrachtet werden.

Eine weitere mögliche Ursache könnte hier im Untersuchungsablauf liegen. Die Aufzeichnung der COP-Werte mit geschlossenen Augen folgte am Ende der Messequenzen. Nach der Messung beider Schultern mit geöffneten Augen schloss sich die Analyse mit geschlossenen Augen an und der Proband wurde eventuell vertrauter im Umgang mit der Ausgangsstellung und Durchführung der Übung. Doch könnte man hier entgegenstellen, dass ein späterer

Messzeitpunkt auch zu mentaler oder physischer Ermüdung führen könnte, wobei dies durch die kurze Messdauer von 30 sec und die diesbezüglich rasche Regenerationsfähigkeit des neuromuskulären Systems nicht unmittelbar problematisch erscheint.

Im Hinblick auf die Altersstruktur ist festzuhalten, dass die Gruppe der ACG-Patienten mit durchschnittlich 38,1 Jahren in Bezug auf das Gesamtkollektiv eher jünger war. Des Weiteren deutet die Verletzungsursache (traumatische Sturzereignisse im Rahmen sportlicher Betätigung) auf ein vermutlich höheres Aktivitätslevel hin, was die Ausführung der Messposition günstig beeinflusst haben könnte.

Ein weiterer möglicher Grund für die niedrigen sensomotorischen Abweichungen könnte im operativen Verfahren liegen, charakterisiert durch die chirurgische Versorgung der AC-Gelenksregion unter Schonung glenohumeraler Strukturen. Die in diesem Gruppenkollektiv ausnahmslos arthroskopisch erfolgten AC-Gelenksrekonstruktionen gehen daher möglicherweise mit vergleichbar geringeren Weichteilverletzungen wichtiger stabilisierender Gelenkstrukturen einher.

Zahlreiche Autoren verweisen auf die glenohumerale Kapsel und ihrer ligamentären Verstärkung als wichtigste Struktur der passiven Stabilität (Terry et al. 1991; Bigliani et al. 1996; Ishihara et al. 2014). Vielmehr noch spielt der Kapsel-Ligament-Komplex mit seinen Mechanorezeptoren wohl eine tragende Rolle als afferent-sensorischer Signalgeber im Rahmen der dynamischen Gelenkstabilität und ist Teil der neuromuskulären Feedback-Schleifen (Jerosch et al. 1993; Guanche et al. 1995; Vangness et al. 1995; Nyland et al. 1998; Gohlke et al. 1998).

Zusätzlich könnte die fehlende Beteiligung der Rotatorenmanschette ein weiterer Beleg für die geringeren sensomotorischen Abweichungen sein. Sie gilt als wichtigste Struktur in Bezug auf die dynamische glenohumerale Stabilität und besitzt daher eine Schlüsselrolle für die Zentrierung des Caput humeri im Glenoid. (Myers & Lephart 2000). Speziell durch die hohe Dichte an Mechanorezeptoren (Gohlke et al. 1998) ist sie entscheidend an der neuromuskulären Gelenksicherung beteiligt.

Trotz der signifikanten Seitendifferenz zeigten sich somit in der Gesamtschau der ACG-Patienten tendenziell geringe sensomotorische Defizite, die durch gute klinische Ergebnisse (u.a. 80 % gute bis ausgezeichnete CS- u. ASES-Wertungen) ergänzt wurden. Dies würde zu den zahlreich in der Literatur beschriebenen positiven klinischen Resultaten der AC-Gelenksrekonstruktionen passen (Li et al. 2013; Pan et al. 2014; Virtanen et al. 2013; DeBerardino et al. 2010). Wobei hierzu konstatiert werden muss, dass in diesen Arbeiten keine spezielle zusätzliche Evaluation der sensomotorischen Funktionsfähigkeit stattgefunden hat und somit nur das klinische Outcome anhand der Score-Ergebnisse verglichen werden kann.

Es liegt derzeit keine wissenschaftliche Publikation vor, die den Zusammenhang von AC-Gelenksrekonstruktionen und der postoperativen sensomotorischen Funktionsfähigkeit untersucht haben. Dies wäre wünschenswert, um die in dieser Studie evaluierten Daten diesbezüglich zu vergleichen.

5.6 Diskussion der Ergebnisse der Gruppe Schulterstabilisation

Die sensomotorische Analyse der Gruppe mit operativ versorgten anterioren Schulterinstabilitäten zeigte im Vergleich zur ACG-Gruppe in allen Messequenzen höhere COP-Werte und somit größere sensomotorische Abweichungen. Verglichen mit allen Patientengruppen lag sie damit im Mittelfeld. Hinzu kam eine signifikante Seitendifferenz der operierten vs. gesunden Schulter.

Ein glenohumerales Stabilitätsdefizit hat weitreichende Folgen für das koordinative Bewegungsverhalten der oberen Extremität. Insbesondere ein insuffizienter Kapsel-Bandapparat und damit einhergehende Funktionsstörungen der neuromuskulären Koordination führen zu Einbußen der sensomotorischen Gelenkstabilisation. Fremerey und Kollegen (2005) weisen darauf hin, dass nach einer operativen Schulterstabilisation eine gänzlich uneingeschränkte Schulterfunktion speziell hinsichtlich forcierter Überkopftätigkeiten häufig nicht zu erzielen ist. Ein verbleibendes propriozeptives Defizit könnte laut den Autoren dafür verantwortlich sein.

Im Gegensatz zur tendenziell weichteilschonenderen AC-Gelenksrekonstruktion steht bei der anterioren Schulterinstabilität insbesondere der Kapsel-Labrumkomplex im Fokus der operativen Therapie.

Bei der traumatischen Schulterluxation erfolgt in den meisten Fällen ein Abriss des Labrum glenoidale, eines der wichtigsten statischen Elemente der Schulterstabilität. Über eine Vergrößerung der Kavität des Glenoids und einen stabilisierenden Vakuumeffekt innerhalb der Kapsel, nimmt das Labrum entscheidenden Einfluss auf die glenohumerale Gelenksicherung (Wiedemann 2017).

Hinzu kommt eine potenzielle weitere Funktion im Bereich des sensorischen Feedbacks. So berichten Witherspoon et al. (2014) von der Existenz von Mechanorezeptoren (Typ I und II nach Freeman & Wyke 1967) u.a. auch im Labrum glenoidale und ihrer Bedeutung für die propriozeptive Beteiligung bei der dynamischen Gelenkstabilisation. Bisher konnten diesbezüglich ausschließlich freie Nervenendigungen detektiert werden (Vangsness et al. 1995; Gohlke et al. 1998; Guanche et al. 1999). Da die chirurgischen Eingriffe

diese Rezeptorstrukturen zerstören können (Steinbeck et al. 2003; Nyland et al. 1998), weist die Arbeitsgruppe um Witherspoon explizit auf die Bedeutung einer schonenden operativen Intervention hin.

Ebenso führt die traumatische Luxation zu einer Dehnung und Verletzung des Kapselband-Apparats. So wirken sich Affektionen der Kapsel und ihren glenohumeralen Bändern durch eine partielle Deafferenzierung ebenfalls auf das sensorische Feedbacksystem aus und führen zu Defiziten der neuromuskulären Gelenkstabilisierung (Jerosch et al. 1993; Borsa et al. 1994). Da die Rotatorenmanschette in die Kapsel inseriert und über eine Dynamisierung für eine zusätzliche Gelenksicherung sorgt, entstehen hiermit weitere stabilitätsmindernde Effekte (Cain et al. 1987).

Aufgrund der Luxationsrichtung treten zudem weitere Weichteilläsionen hauptsächlich im Bereich des mittleren (MGHL) und inferioren glenohumeralen Ligaments (IGHL) auf, wobei grundsätzlich das IGHL als wichtigste Bandstruktur gilt (Wiedemann 2017).

Insgesamt ist die operative Schulterstabilisierung durch eine größere Invasivität bezüglich der glenohumeralen Weichteilstrukturen gekennzeichnet als bspw. die AC-Gelenksrekonstruktion. Trotz chirurgischer Wiederherstellung der passiven Stabilisatoren könnten hierbei u.a. durch Gewebeuntergang und daraus resultierend gestörte, neuromuskuläre Regelkreise zumindest kurz- bis mittelfristig Defizite der sensomotorischen Funktionsfähigkeit verbleiben.

Fremerey et al. (2005) untersuchten die Sensomotorik bei 35 Patienten nach Kapsellabrumrekonstruktion bei posttraumatischer vorderer Schulterinstabilität. Obgleich guter klinischer Ergebnisse berichten sie über ein verbleibendes propriozeptives Defizit und veränderte Aktivierungsmuster des M. deltoideus. Knapp ein Drittel der Teilnehmer (30,8 %) konnten ihre Sportart aufgrund Unsicherheit und Angst insbesondere bei Überkopftätigkeit nicht mehr auf früherem Niveau ausüben. Wobei darauf hinzuweisen ist, dass die sensomotorische Funktion durch EMG- sowie JPS-Analysen erhoben wurde und mit der COP-Messmethodik nicht direkt verglichen werden kann.

Ähnliche Zahlen präsentierten auch Bigliani und Kollegen (1994). In ihrem Kollektiv (n=63) erreichten rund 25 % der Patienten nach anterior-inferiorer Stabilisation ihr vorheriges Leistungsniveau nicht mehr. In Bezug auf die Vergleichbarkeit der Kollektive sei angemerkt, dass im Gegensatz zur

schulterstabilisierten Patientengruppe der vorliegenden Studie (80 % Bankartläsionen) nur lediglich ein Drittel der Patienten von Bigliani typische Labrumläsionen aufwiesen. Zudem wurden die Eingriffe offen statt minimal-invasiv durchgeführt.

Aboalata et al. (2017) zeigten jüngst in einem 13-Jahre Follow-Up nach arthroskopischer „Bankart Repair“-Operation trotz guten klinischen Outcomes, dass lediglich knapp die Hälfte (49,5 %) der Patienten (n=143) ihr vorheriges Sportlevel erreichten. Dies könnten Hinweise darauf sein, dass ungeachtet der biomechanisch-suffizienten Wiederherstellung der statischen Gelenkstabilisatoren sensomotorische Defizite persistieren.

Andere Arbeiten präsentieren hingegen bei vergleichbar guten klinischen Ergebnissen deutlich höhere Prozentsätze hinsichtlich der Rückkehr auf das präoperative Leistungsniveau. So gaben Castagna et al. (2012) eine „return to sport“ (RTS) -Quote auf das vorherige Leistungsniveau von über 80 % ihres Kollektivs nach arthroskopischer Kapsel-Labrum-Rekonstruktion an. Die Arbeitsgruppen um Fabre et al. (2010) und Neviasser et al. (2017) berichteten ebenfalls von äußerst erfolgreichen RTS-Werten im Hinblick auf das Erreichen des ursprünglichen Sportlevels (n=49, 82 %; n=107, 90 %).

Einige Autoren weisen sogar explizit auf eine potenziell wiederhergestellte Propriozeption nach anteriorer Stabilisation hin. So untersuchten Pötzl et al. (2004) die propriozeptive Funktion von 14 Patienten vor und nach arthroskopischer bzw. offener Bankart-OP mittels JPS-Methodik. Nach einem postoperativen Zeitraum von mindestens 5 Jahren zeigten sich an den operierten Schultern signifikante Verbesserungen des propriozeptiven Stellungssinnes verglichen mit dem präoperativen Messergebnis. Kritisch muss hierbei betrachtet werden, dass durch die verwendete JPS-Messmethode im Vergleich zur COP-Messmethodik lediglich eine Teilkomponente untersucht wurde und die Aussagekraft im sensomotorischen Gesamtkontext daher als eher gering einzuschätzen ist.

Lephart et al. (1994) untersuchten die propriozeptive Funktion bei 20 Patienten nach vorderer Schulterstabilisierung (arthroskopisch n=9, offen n=11) in einem postoperativen Zeitraum zwischen 7 und 18 Monaten sowohl mit Kinästhesie- als auch JPS-Messungen und stellten keinerlei Unterschiede der operierten Schulter im Vergleich zur gesunden Gegenseite fest. Im Gegensatz zur

vorliegenden Arbeit fanden sich im Kollektiv von Lephart und Kollegen neben arthroskopischen auch offene operative Stabilisierungen.

Aydin et al. (2001) kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie konnten in ihrem Kollektiv (n=20) ebenfalls keine signifikant unterschiedlichen Seitendifferenzen zwischen operierter und gesunder Schulter und im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe feststellen, wobei auch hier nur eine propriozeptive Submodalität untersucht wurde. Machner und Kollegen (1998) berichteten bei 13 arthroskopisch stabilisierten Patienten anhand kinästhetischer Messungen von signifikant verbesserten propriozeptiven Fähigkeiten.

Unklar bleibt inwiefern aufgrund der hier lediglich evaluierten Teilqualitäten der Propriozeption eine Aussage in Bezug auf die gesamte propriozeptive und global sensomotorische Funktionsfähigkeit des Schultergelenks möglich ist. Ferner sei an dieser Stelle durch die Unterschiede in der Literatur hinsichtlich der Patientenkollektive und operativen Verfahren auf die eingeschränkte Vergleichbarkeit zu den in dieser Studie erzielten Ergebnissen hingewiesen.

Festzuhalten ist, dass die Patientengruppe nach vorderer Stabilisation im Vergleich zum ACG-Kollektiv zwar höhere, im Vergleich zur postoperativ gemessenen RM-Gruppe jedoch geringere sensomotorische Abweichungen zeigte.

Edouard et al. (2014) waren die bisher einzige Arbeitsgruppe, welche die COP-Messmethodik zur Untersuchung der Sensomotorik an der oberen Extremität angewandt hat. Sie untersuchten mithilfe einer Kraftmessplattform die COP-Abweichung bei 32 Patienten mit anteriorer Instabilität (dominanter Arm betroffen n=13, nicht-dominanter Arm n=19) und stellten in der Gruppe mit verletzter, dominanter Seite signifikante Seitendifferenzen in Bezug auf die COP-Gesamtlänge und der Geschwindigkeit der Veränderungen (COP-velocity) gegenüber der gesunden Schulter fest. Bei den nicht-dominant betroffenen Teilnehmern und der 16-köpfigen gesunden Kontrollgruppe ergaben sich keine signifikanten sensomotorischen Abweichungen im Seitenvergleich. Zusätzlich zeigten sich in beiden Patientengruppen signifikant höhere COP-Werte in der Messsequenz mit geschlossenen gegenüber offenen Augen.

Edouard und Kollegen präsentierten die COP-Messung der oberen Extremität als praktikable Untersuchungsmethode und interpretierten den sensomotorischen Funktionsverlust als Konsequenz von bisher in der Literatur

beschriebenen Veränderungen der unterschiedlichen Teilqualitäten der Sensomotorik (z.B. Defizite der Propriozeption u. neuromuskulären Kontrolle). Diese Beobachtungen können durch die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Die Gruppe um Edouard schließt jedoch auf einen Einfluss der Dominanz und visuellen Komponente bzgl. der sensomotorischen Veränderungen. Es bleibt unklar inwiefern diese Modalitäten zu größeren Defiziten geführt haben. In den Untersuchungsgruppen der vorliegenden Studie hatte die Händigkeit sowie die visuelle Komponente keinen messbaren Einfluss auf den sensomotorischen Outcome.

Es fanden keine Messungen bei bereits operierten Patienten statt. Somit ist ein direkter Vergleich zu den hier vorliegenden Ergebnissen nicht möglich.

Generell ist derzeit keine andere wissenschaftliche Arbeit zur sensomotorischen Messung der oberen Extremität mittels COP-Messmethodik bekannt.

6 Zusammenfassung

Das Schultergelenk erfordert aufgrund des großen Bewegungsradius und der relativ geringen Kontaktfläche der artikulierenden Gelenkpartner ein hohes Maß an funktionaler Gelenkstabilität. Es wird durch ein Zusammenwirken statischer und dynamischer Stabilisatoren gewährleistet. Jenes komplexe Zusammenspiel beinhaltet sowohl den propriozeptiven Input, als auch die neuromuskulären Reflexmuster und die Verarbeitung dieser Informationen im zentralen Nervensystem. Dies wird unter dem Begriff des sensomotorischen Systems zusammengefasst.

Bezüglich der negativen Auswirkungen von Schulterverletzungen auf die sensomotorische Funktion herrscht Einigkeit, wobei nur wenige Arbeiten vorliegen, welche sich explizit dieser Fragestellung widmen. Hinzu kommt, dass derzeit kein standardisiertes Messverfahren zur Evaluation der globalen, sensomotorischen Funktionsfähigkeit der oberen Extremität existiert.

Das Ziel dieser klinisch-experimentellen Arbeit war es, im Rahmen einer Querschnittsstudie die klinischen Ergebnisse sowohl vor und nach RM-Rekonstruktion als auch nach operativ versorgter AC-Gelenksluxation und anteriorer Schulterinstabilität unter besonderer Berücksichtigung der sensomotorischen Funktion zu untersuchen. Im Mittelpunkt stand dabei die Messung der Abweichungen des „center of pressure“ (COP) mithilfe einer Kraftmessplatte.

Trotz durchweg guter klinischer Scores, zeigten alle vier Patientengruppen höhere COP-Abweichungen auf der betroffenen Seite im Vergleich zur gesunden Schulter und somit einen größeren Verlust an neuromuskulärer Stabilisationsfähigkeit. Bis auf die Gruppe der postoperativen RM-Patienten, konnten durchweg signifikante Seitendifferenzen der betroffenen gegenüber der nicht betroffenen Schulter demonstriert werden. Erwartungsgemäß präsentierten die vor der Operation gemessenen Schulterpatienten die insgesamt höchsten COP-Abweichungen. Affektionen der muskulo-tendinösen

Strukturen haben einen großen Einfluss auf den sensomotorischen Funktionsverlust.

Die gesunde Kontrollgruppe wies vergleichbar niedrige COP-Werte und keinerlei Seitenunterschiede auf, was in Einklang mit bisherigen Arbeiten steht.

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass Schulterverletzungen mit deutlichen sensomotorischen Defiziten zusammenhängen, diese auch nach operativen Eingriffen zumindest mittelfristig bestehen bleiben und die reine anatomisch-biomechanische Rekonstruktion nicht auch zwangsläufig zur Wiederherstellung der propriozeptiven und neuromuskulären Funktionsfähigkeit führt.

Es ist anzunehmen, dass je mehr Gewebeuntergang durch die Verletzung und/oder Operation zu verzeichnen ist und je umfassender dadurch die Beteiligung der statischen und dynamischen Schulterstabilisatoren ausfällt, desto größer sich die postoperativen, sensomotorischen Defizite zeigen.

Somit sollte bei Versagen konservativer Therapien das übergeordnete Ziel die schonende, operative Intervention mit einem größtmöglichen Erhalt der Weichteilstrukturen sein.

Die COP-basierte Sensomotorikmessung präsentierte sich als geeignetes Messverfahren der oberen Extremität.

Inwiefern sich diese Ergebnisse bestätigen sowie auch auf andere Schulterpathologien übertragen lassen und welche Rolle die sensomotorische COP-Messmethodik der oberen Extremität zukünftig spielen kann, müssen weitere Studien zeigen.

7 Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Wertung des normierten Constant Score S. 38
- Tab. 2: Wertung des normierten ASES Score S. 39
- Tab. 3: mediane COPxy-Werte der Kontrollgruppe S.46
- Tab. 4: mediane COPxy-Werte der Gruppe RM präoperativ S.49
- Tab. 5: Ergebnisse Constant Score Gruppe RM postoperativ S.51
- Tab. 6: Ergebnisse ASES Score Gruppe RM postoperativ S.52
- Tab. 7: Ergebnisse VAS Gruppe RM postoperativ S.53
- Tab. 8: mediane COPxy-Werte der Gruppe RM postoperativ S.54
- Tab. 9: Ergebnisse Constant Score Gruppe ACG postoperativ S.56
- Tab. 10: Ergebnisse ASES Score Gruppe ACG postoperativ S.58
- Tab. 11: Ergebnisse VAS Gruppe ACG postoperativ S.59
- Tab. 12: mediane COPxy-Werte der Gruppe ACG S.59
- Tab. 13: Ergebnisse Constant Score Gruppe Stabilisation postoperativ S.62
- Tab. 14: Ergebnisse ASES Score Gruppe Stabilisation postoperativ S.63
- Tab. 15: Ergebnisse VAS Gruppe Stabilisation postoperativ S.64
- Tab. 16: mediane COPxy-Werte der Gruppe Schulterstabilisation S.65

8 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Auswahl an propriozeptiven Messmethoden (Han et al. 2016) S.14
- Abb. 2: Hauptverletzungsmechanismen ACG-Luxation (Tauber et al. 2017) S.17
- Abb. 3: Klassifikation der AC-Gelenksluxationen nach Rockwood (Tauber et al. 2017) S.19
- Abb. 4: ACG-Rekonstruktion mittels Doppel-TightRope®-Stabilisierung (Tauber et al. 2017) S.20
- Abb. 5: Y-View-Aufnahme Doppel-TightRope®-Stabilisierung (Tauber et al. 2017) S.21
- Abb. 6: „Klassische“ Bankart-Läsion (Wiedemann 2017) S.25
- Abb. 7: Abschlusssitus nach Einbringung der Nahtanker (Lichtenberg 2017) S.26
- Abb. 8: Darstellung der Schultergelenksanatomie, hervorgehoben die Ansätze der Rotatorenmanschette, Ansicht von lateral (Irlenbusch 2011) S.27
- Abb. 9: Zentrierende koronare (a) und transversale (b) Kraftvektoren der RM (Liem & Scheibel 2017) S.28
- Abb. 10: Einteilung der Sehnenretraktion nach Patte (Loew & Habermeyer 2017) S.30
- Abb. 11: a) Rekonstruktion in Doppelreihentechnik und b) Speedbridge-Verfahren (Habermeyer et al. 2017) S.31
- Abb. 12: Visuelle Analogskala S.39
- Abb. 13: Kraftmessplatte (Bertec.com 2018) S.40
- Abb. 14: Messposition (aus Edouard et al. 2014) S.42
- Abb. 15: Messposition von seitlich S.43
- Abb. 16: Messposition von vorne S.44
- Abb. 17: Verletzungsätiologie Gruppe RM präoperativ S.47
- Abb. 18: Verletzungsätiologie Gruppe RM postoperativ S.50
- Abb. 19: Bewertung der Constant Scores Gruppe RM postoperativ S.52
- Abb. 20: Bewertung der ASES Scores Gruppe RM postoperativ S.53
- Abb. 21: Verletzungsätiologie AC-Gelenkluxation S.55
- Abb. 22: Bewertung der Constant Scores Gruppe ACG postoperativ S.57

Abb. 23: Bewertung der ASES Scores Gruppe ACG postoperativ S.58

Abb. 24: Ätiologie der Schulterinstabilität S.60

Abb. 25: Bewertung der Constant Scores Gruppe Stabilisation postoperativ S.63

Abb. 26: Bewertung der ASES Scores Gruppe Stabilisation postoperativ S.64

Abb. 27: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert vs. nicht operiert mit offenen Augen (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ) S.66

Abb. 28: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert vs. nicht operiert mit geschlossenen Augen (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ) S.67

Abb. 29: Boxplot Gruppenübersicht/ operiert (offene vs. geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ) S.68

Abb. 30: Boxplot Gruppenübersicht/ nicht operiert (offene vs. geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ) S.68

Abb. 31: Boxplot Gruppenübersicht/ dominant vs. nicht-dominant mit offenen Augen (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ, Gruppe 5: Kontrollgruppe) S.69

Abb. 32: Boxplot Gruppenübersicht/ dominant vs. nicht-dominant (geschlossene Augen) (Gruppe 1: ACG, Gruppe 2: Stabilisation, Gruppe 3: RM postoperativ, Gruppe 4: RM präoperativ, Gruppe 5: Kontrollgruppe) S.70

Abb. 33: Beispielgrafik einer Messequenz-Aufzeichnung über 30 sec mit niedrigeren Abweichungen (gesunde Schulter links) S.71

Abb. 34: Beispielgrafik einer Messequenz-Aufzeichnung über 30 sec mit höheren Abweichungen (operierte Schulter/ RM postoperativ rechts) S.71

9 Literaturverzeichnis

Aboalata, M., J. E. Plath, G. Seppel, J. Juretzko, S. Vogt and A. B. Imhoff (2017). *"Results of Arthroscopic Bankart Repair for Anterior-Inferior Shoulder Instability at 13-Year Follow-up."* Am J Sports Med 45(4): 782-787.

Adams, C. R., A. M. DeMartino, G. Rego, P. J. Denard and S. S. Burkhart (2016). *"The Rotator Cuff and the Superior Capsule: Why We Need Both."* Arthroscopy 32(12): 2628-2637.

Ager, A. L., J. S. Roy, M. Roos, A. F. Belley, A. Cools and L. J. Hebert (2017). *"Shoulder proprioception: How is it measured and is it reliable? A systematic review."* J Hand Ther 30(2): 221-231.

Agout, C., J. Berhouet, Y. Bouju, A. Godeneche, P. Collin, J. F. Kempf and L. Favard (2018). *"Clinical and anatomic results of rotator cuff repair at 10 years depend on tear type."* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc:1-8.

Ainsworth, R. and J. S. Lewis (2007). *"Exercise therapy for the conservative management of full thickness tears of the rotator cuff: a systematic review."* Br J Sports Med 41(4): 200-210.

Aleem, A. W. and R. H. Brophy (2012). *"Outcomes of rotator cuff surgery: what does the evidence tell us?"* Clin Sports Med 31(4): 665-674.

Anderson, K., M. Boothby, D. Aschenbrenner and M. van Holsbeeck (2006). *"Outcome and structural integrity after arthroscopic rotator cuff repair using 2 rows of fixation: minimum 2-year follow-up."* Am J Sports Med 34(12): 1899-1905.

Anderson, V. B. and E. Wee (2011). *"Impaired joint proprioception at higher shoulder elevations in chronic rotator cuff pathology."* Arch Phys Med Rehabil

92(7): 1146-1151.

Andrade, R., R. C. Araujo, H. T. Tucci, J. Martins and A. S. Oliveira (2011). *"Coactivation of the shoulder and arm muscles during closed kinetic chain exercises on an unstable surface."* Singapore Med J 52(1): 35-41.

Angst, F., et al., (2011) *"Measures of adult shoulder function: Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand Questionnaire (DASH) and its short version (QuickDASH), Shoulder Pain and Disability Index (SPADI), American Shoulder and Elbow Surgeons (ASES) Society standardized shoulder assessment form, Constant (Murley) Score (CS), Simple Shoulder Test (SST), Oxford Shoulder Score (OSS), Shoulder Disability Questionnaire (SDQ), and Western Ontario Shoulder Instability Index (WOSI)." Arthritis Care Res (Hoboken). 63 Suppl 11: p. S174-88.*

Apps, C., T. Sterzing, T. O'Brien and M. Lake (2016). *"Lower limb joint stiffness and muscle co-contraction adaptations to instability footwear during locomotion."* J Electromyogr Kinesiol 31: 55-62.

Aydin, T., Y. Yildiz, I. Yanmis, C. Yildiz and T. A. Kalyon (2001). *"Shoulder proprioception: a comparison between the shoulder joint in healthy and surgically repaired shoulders."* Arch Orthop Trauma Surg 121(7): 422-425.

Bankart, A. S. (1923). *"Recurrent or Habitual Dislocation of the Shoulder-Joint."* Br Med J 2(3285): 1132-1133.

Bateman, J. E. (1963). *"The Diagnosis and Treatment of Ruptures of the Rotator Cuff."* Surg Clin North Am 43: 1523-1530.

Beitzel, K., M. P. Cote, J. Apostolakos, O. Solovyova, C. H. Judson, C. G. Ziegler, C. M. Edgar, A. B. Imhoff, R. A. Arciero and A. D. Mazzocca (2013). *"Current concepts in the treatment of acromioclavicular joint dislocations."* Arthroscopy 29(2): 387-397.

Ben-Yishay, A., J. D. Zuckerman, M. Gallagher and F. Cuomo (1994). *"Pain inhibition of shoulder strength in patients with impingement syndrome."* Orthopedics 17(8): 685-688.

Bertec Force Plate. Bertec Corporation, Columbus, OH, US (2018) *"Abbildung Kraftmessplatte."* Online Zugriff. Retrieved 04.01.2018 from <https://bertec.com/products/force-plates>

Bigliani, L. U., P. R. Kurzweil, C. C. Schwartzbach, I. N. Wolfe and E. L. Flatow (1994). *"Inferior capsular shift procedure for anterior-inferior shoulder instability in athletes."* Am J Sports Med 22(5): 578-584.

Bigliani LU, Kelkar R, Flatow EL, Pollock RG, Mow VC. *"Glenohumeral stability. Biomechanical properties of passive and active stabilizers."* Clin Orthop Relat Res 1996;330:13-30.

Black, F. O., C. Wall, 3rd, H. E. Rockette, Jr. and R. Kitch (1982). *"Normal subject postural sway during the Romberg test."* Am J Otolaryngol 3(5): 309-318.

Blaszczyk, J. W. (2016). *"The use of force-plate posturography in the assessment of postural instability."* Gait Posture 44: 1-6.

Boehm, D., Wollmerstedt, N., Doesch, M., Handwerker, M., Mehling, E., & Gohlke, F. (2004). *"Development of a questionnaire based on the Constant-Murley-Score for self-evaluation of shoulder function by patients."* Unfallchirurg, 107(5), 397-402.

Boerboom, A. L., M. R. Huizinga, W. A. Kaan, R. E. Stewart, A. L. Hof, S. K. Bulstra and R. L. Diercks (2008). *"Validation of a method to measure the proprioception of the knee."* Gait Posture 28(4): 610-614.

Boileau, P., Villalba, M., Hery, J. Y., Balg, F., Ahrens, P., & Neyton, L. (2006). *"Risk factors for recurrence of shoulder instability after arthroscopic Bankart repair."* J Bone Joint Surg Am, 88(8), 1755-1763.

Bond, E. C., L. Hunt, M. J. Brick, W. B. Leigh, A. Maher, S. W. Young and M. A. Caughey (2018). "Arthroscopic, open and mini-open approach for rotator cuff repair: no difference in pain or function at 24 months." ANZ J Surg 88(1-2): 50-55.

Borsa PA, Lephart SM, Kocher M, Lephart SP (1994). "Functional assessment and rehabilitation of shoulder proprioception. Journal of Sports Rehabilitation". 3: 84-105.

Braun, S., A. B. Imhoff and F. Martetschläger (2015). "Arthroscopically assisted techniques for treatment of acute and chronic acromioclavicular joint injuries." Unfallchirurg 118(5): 407-414.

Brunner UH, Scheibel M: "Klinische Untersuchung der Schulter." In: Habermeyer P, Lichtenberg, S., Magosch, P. (Hrsg) Schulterchirurgie. Elsevier, München, 2010, 63-97.

Cain, P. R., T. A. Mutschler, F. H. Fu and S. K. Lee (1987). "Anterior stability of the glenohumeral joint. A dynamic model." Am J Sports Med 15(2): 144-148.

Castagna, A., G. Delle Rose, M. Borroni, B. D. Cillis, M. Conti, R. Garofalo, D. Ferguson and N. Portinaro (2012). "Arthroscopic stabilization of the shoulder in adolescent athletes participating in overhead or contact sports." Arthroscopy 28(3): 309-315.

Clark, J. M. and D. T. Harryman, 2nd (1992). "Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy." J Bone Joint Surg Am 74(5): 713-725.

Collins, J. J. and C. J. De Luca (1993). "Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories." Exp Brain Res 95(2): 308-318.

Constant, C.R. and A.H. Murley (1987). "A clinical method of functional assessment of the shoulder." Clin Orthop Relat Res (214): p. 160-4.

Cuomo, F., M. G. Birdzell and J. D. Zuckerman (2005). *"The effect of degenerative arthritis and prosthetic arthroplasty on shoulder proprioception."* J Shoulder Elbow Surg 14(4): 345-348.

Debski, R. E., M. Sakone, S. L. Woo, E. K. Wong, F. H. Fu and J. J. Warner (1999). *"Contribution of the passive properties of the rotator cuff to glenohumeral stability during anterior-posterior loading."* J Shoulder Elbow Surg 8(4): 324-329.

De Groot, F., J. L. Allen and L. H. Ting (2017). *"Contribution of muscle short-range stiffness to initial changes in joint kinetics and kinematics during perturbations to standing balance: A simulation study."* J Biomech 55: 71-77.

Dietz, V., J. Noth and D. Schmidbleicher (1981). *"Interaction between pre-activity and stretch reflex in human triceps brachii during landing from forward falls."* J Physiol 311: 113-125.

DVSE (2012). *„Untersuchungstechniken des Schultergelenks.“* In: von Eisenhart-Rothe, R., Englert, C., Greiner, St., Irlenbusch, U., Jehmlich, S., Kasten, P., Kircher, J., Kirchhoff, C., Klinger, H.-M., Kusma, M., Lehmann, L.-J., Liem, D., Magosch, P., Ogon, P., Raiß, P., Ritsch, M., Scheibel, M., Schofer, M., Thierjung, H., Voigt, C., Witt, K.-A. Deutsche Vereinigung für Schulter- und Ellenbogenchirurgie (DVSE) e.V. Hrsg. Obere Extremität Supplement 1. Band 7. Springer-Verlag. 10-67.

Edouard, P., D. Gasq, P. Calmels, S. Ducrot and F. Degache (2012). *"Shoulder sensorimotor control assessment by force platform: feasibility and reliability."* Clin Physiol Funct Imaging 32(5): 409-413.

Edouard, P., D. Gasq, P. Calmels and F. Degache (2014). *"Sensorimotor control deficiency in recurrent anterior shoulder instability assessed with a stabilometric force platform."* J Shoulder Elbow Surg 23(3): 355-360.

Edwards, A. S. (1946). *"Body sway and vision."* J Exp Psychol 36(6): 526-535.

Fabis, J., R. Rzepka, A. Fabis, J. Zwierzchowski, G. Kubiak, A. Stanula, M. Polguj and R. Maciej (2016). "*Shoulder proprioception - lessons we learned from idiopathic frozen shoulder.*" BMC Musculoskelet Disord 17: 123.

Fabre, T., M. L. Abi-Chahla, A. Billaud, M. Geneste and A. Durandeau (2010). "*Long-term results with Bankart procedure: a 26-year follow-up study of 50 cases.*" J Shoulder Elbow Surg 19(2): 318-323.

Fox, J. and A.A. Romeo (2003). "*Arthroscopic subscapularis Repair.*" In Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. New Orleans, Louisiana.

Freeman, M. A. and B. Wyke (1967). "*The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat.*" J Anat 101(Pt 3): 505-532.

Fremerey, R., N. Freitag, U. Bosch, P. Lobenhoffer and B. Wippermann (2005). "*Sensorimotor deficit after capsulolabral reconstruction in chronic instability of the shoulder. A clinical experimental study.*" Unfallchirurg 108(12): 1038-1043.

Friden, T., R. Zatterstrom, A. Lindstrand and U. Moritz (1989). "*A stabilometric technique for evaluation of lower limb instabilities.*" Am J Sports Med 17(1): 118-122.

Friden, T., D. Roberts, E. Ageberg, M. Walden and R. Zatterstrom (2001). "*Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture.*" J Orthop Sports Phys Ther 31(10): 567-576.

Gartsman, G. M., T. S. Roddey and S. M. Hammerman (2000). "*Arthroscopic treatment of anterior-inferior glenohumeral instability. Two to five-year follow-up.*" J Bone Joint Surg Am 82-A(7): 991-1003.

Gerber, C. and R. J. Krushell (1991). "*Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases.*" J Bone Joint Surg Br 73(3): 389-394.

Gerber, C., D. C. Meyer, A. G. Schneeberger, H. Hoppeler and B. von Rechenberg (2004). *"Effect of tendon release and delayed repair on the structure of the muscles of the rotator cuff: an experimental study in sheep."* J Bone Joint Surg Am 86-A (9): 1973-1982.

Goble, D. J. (2010). *"Proprioceptive acuity assessment via joint position matching: from basic science to general practice."* Phys Ther 90(8): 1176-1184.

Gohlke, F., E. Janssen, J. Leidel, B. Heppelmann and J. Eulert (1998). *"Histomorphological findings on proprioception in the shoulder."* Orthopäde 27(8): 510-517.

Goldhahn, J., F. Angst, S. Drerup, G. Pap, B. R. Simmen and A. F. Mannion (2008). *"Lessons learned during the cross-cultural adaptation of the American Shoulder and Elbow Surgeons shoulder form into German."* J Shoulder Elbow Surg 17(2): 248-254.

Goldie, P. A., T. M. Bach and O. M. Evans (1989). *"Force platform measures for evaluating postural control: reliability and validity."* Arch Phys Med Rehabil 70(7): 510-517.

Guanche, C., T. Knatt, M. Solomonow, Y. Lu and R. Baratta (1995). *"The synergistic action of the capsule and the shoulder muscles."* Am J Sports Med 23(3): 301-306.

Guanche, C. A., J. Noble, M. Solomonow and C. S. Wink (1999). *"Periarticular neural elements in the shoulder joint."* Orthopedics 22(6): 615-617.

Habermeyer, P., P. Magosch and S. Lichtenberg (2004). *"Shoulder instability. Classification and treatment."* Orthopäde 33(7): 847-872; quiz 873.

Han, J., J. Anson, G. Waddington and R. Adams (2013). *"Proprioceptive performance of bilateral upper and lower limb joints: side-general and site-specific effects."* Exp Brain Res 226(3): 313-323.

Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y (2016). „*Assessing proprioception: A critical review of methods.*“ *Journal Of Sport and Health Science* 5 March 2016, 80-90.

Han J, Waddington G, Adams R, Anson J, Liu Y (2016). „*Assessing proprioception: A critical review of methods.*“ *Abbildung: Auswahl an propriozeptiven Messmethoden.* Online Zugriff. Retrieved 20.03.2018 from https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-different-apparatus-employed-in-TTDPM-JPR-and-AMEDA-proprioreception-tests_fig1_271773731

Harris, J. D., A. K. Gupta, N. A. Mall, G. D. Abrams, F. M. McCormick, B. J. Cole, B. R. Bach, Jr., A. A. Romeo and N. N. Verma (2013). "*Long-term outcomes after Bankart shoulder stabilization.*" *Arthroscopy* 29(5): 920-933.

Hashimoto, T., K. Nobuhara and T. Hamada (2003). "*Pathologic evidence of degeneration as a primary cause of rotator cuff tear.*" *Clin Orthop Relat Res* (415): 111-120.

Hawkins R, Bokor DJ (1990). "*Clinical evaluation of shoulder problems.*" In: Rockwood CA, Matsen FA (eds) *The shoulder.* Saunders, Philadelphia, pp 149–177.

Hegedus EJ, Goode AP, Cook CE, Michener L, Myer CA, Myer DM, Wright AA. (2012) "*Which physical examination tests provide clinicians with the most value when examining the shoulder? Update of a systematic review with meta-analysis of individual tests.*" *British Journal of Sports Medicine*; 46(14): 964-978.

Heise, G. D. (1995). "*EMG changes in agonist muscles during practice of a multijoint throwing skill.*" *J Electromyogr Kinesiol* 5(2): 81-94.

Herrington, L., I. Horsley and C. Rolf (2010). "*Evaluation of shoulder joint position sense in both asymptomatic and rehabilitated professional rugby players and matched controls.*" *Phys Ther Sport* 11(1): 18-22.

Horiuchi, K., M. Ishihara and K. Imanaka (2017). *"The essential role of optical flow in the peripheral visual field for stable quiet standing: Evidence from the use of a head-mounted display."* PLoS One 12(10): e0184552.

Hufschmidt, A., J. Dichgans, K. H. Mauritz and M. Hufschmidt (1980). *"Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications."* Arch Psychiatr Nervenkr (1970) 228(2): 135-150.

Imhoff, A.B., Baumgartner, R., Linke, R.D. (2006). *„Checkliste Orthopädie“*. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart. S. 290.

Imhoff, A.B. (2017). *„Die Rotatorenmanschette im Laufe des Lebens.“* Arthroscopie 30: 171.

Inman, V. T., J. B. Saunders and L. C. Abbott (1996). *"Observations of the function of the shoulder joint. 1944."* Clin Orthop Relat Res (330): 3-12.

Irlenbusch, U. (2011). *„Luxationen und Instabilitäten.“* In: Winker, K.H. (Hrsg) Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie, 1.Auflage, Urban & Fischer Verlag, Elsevier GmbH, München. S. 523.

Irlenbusch, U., Lill, H., Voigt, C. (2011). *„Erkrankungen und Verletzungen des Akromioklavikulargelenks.“* In: Winker, K.H. (Hrsg) Facharzt Orthopädie Unfallchirurgie, 1.Auflage, Urban & Fischer Verlag, Elsevier GmbH, München. S. 515.

Irlenbusch U. (2015). *"Klinische Untersuchung des Schultergelenks."* Orthopädie und Unfallchirurgie up2date 10. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart. S. 355-372.

Ishihara, Y., T. Mihata, M. Tamboli, L. Nguyen, K. J. Park, M. H. McGarry, S. Takai and T. Q. Lee (2014). *"Role of the superior shoulder capsule in passive stability of the glenohumeral joint."* J Shoulder Elbow Surg 23(5): 642-648.

Jaggi, A. and S. Lambert (2010). *"Rehabilitation for shoulder instability."* Br J Sports Med 44(5): 333-340.

Jerosch, J., J. Steinbeck, H. Clahsen, M. Schmitz-Nahrath and A. Grosse-Hackmann (1993). *"Function of the glenohumeral ligaments in active stabilisation of the shoulder joint."* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1(3-4): 152-158.

Jerosch, J., W. H. Castro, H. Halm and H. Drescher (1993). *"Does the glenohumeral joint capsule have proprioceptive capability?"* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1(2): 80-84.

Jerosch, J. (2000). *"The acromioclavicular joint."* Orthopäde 29(10): 895-908.

Johansson, H. (1991). *"Role of knee ligaments in proprioception and regulation of muscle stiffness."* J Electromyogr Kinesiol 1(3): 158-179.

Kelly, B. T., R. J. Williams, F. A. Cordasco, S. I. Backus, J. C. Otis, D. E. Weiland, D. W. Altchek, E. V. Craig, T. L. Wickiewicz and R. F. Warren (2005). *"Differential patterns of muscle activation in patients with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears."* J Shoulder Elbow Surg 14(2): 165-171.

Kupsch A, Kessler M, Imhoff A. (2005). *"Entwicklung und Validierung zweier visueller Patientenfragebögen zur Selbsterfassung der Schulterfunktion."* Dissertation. TU München. Retrieved 20.05.2017 from <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:bvb:91-diss20051025-2026371157> S.68.

Labriola, J. E., T. Q. Lee, R. E. Debski and P. J. McMahon (2005). *"Stability and instability of the glenohumeral joint: the role of shoulder muscles."* J Shoulder Elbow Surg 14(1 Suppl S): 32S-38S.

Lafosse, L., R. Brozka, B. Toussaint and R. Gobezie (2007). *"The outcome and structural integrity of arthroscopic rotator cuff repair with use of the double-row suture anchor technique."* J Bone Joint Surg Am 89(7): 1533-1541.

Lazarus, M. D., J. A. Sidles, D. T. Harryman, 2nd and F. A. Matsen, 3rd (1996). *"Effect of a chondral-labral defect on glenoid concavity and glenohumeral stability. A cadaveric model."* J Bone Joint Surg Am 78(1): 94-102.

Lephart, S. M., J. J. Warner, P. A. Borsa and F. H. Fu (1994). *"Proprioception of the shoulder joint in healthy, unstable, and surgically repaired shoulders."* J Shoulder Elbow Surg 3(6): 371-380.

Lephart, S. M., D. M. Pincivero, J. L. Giraldo and F. H. Fu (1997). *"The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries."* Am J Sports Med 25(1): 130-137.

Lichtenberg, S. (2017): *„Arthroskopische Operationen bei Instabilität.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) Schulterchirurgie, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 444-468.

Lichtenberg, S., Tauber, M. (2017): *„Arthroskopische Operationen des AC- und SC-Gelenks.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) Schulterchirurgie, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 310-319.

Liem, D., V. E. Buschmann, C. Schmidt, G. Gosheger, T. Vogler, T. L. Schulte and M. Balke (2014). *"The prevalence of rotator cuff tears: is the contralateral shoulder at risk?"* Am J Sports Med 42(4): 826-830.

Liem, D., Scheibel, M. (2017): *„Pathologie und Pathomechanik des Subakromialraums und der Rotatorenmanschette (inkl. lange Bizepssehne).“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) Schulterchirurgie, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 36-55.

Lin, D., H. Seol, M. A. Nussbaum and M. L. Madigan (2008). *"Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences."* Gait Posture 28(2): 337-342.

Loew, M., P. Habermeyer, E. Wiedemann, M. Rickert and F. Gohlke (2000). *"Recommendations for diagnosis and expert assessment of traumatic rotator cuff lesions."* Unfallchirurg 103(5): 417-426.

Loew, M., Habermeyer, P. (2017): *„Therapie der Rotatorenmanschettenruptur und der langen Bizepssehne – allgemeine Aspekte und konservative Therapie.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) Schulterchirurgie, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 322-334.

Luhmann, H.J. (2010). *„Sensomotorische Systeme: Körperhaltung und Bewegung.“* In: Klinker R., Pape H.-C., Kurtz A., Silbernagl S. (Hrsg) Physiologie. 6. Auflage, Thieme, Stuttgart. S. 757-798.

MacDermid, J. C., J. Ramos, D. Drosdowech, K. Faber and S. Patterson (2004). *"The impact of rotator cuff pathology on isometric and isokinetic strength, function, and quality of life."* J Shoulder Elbow Surg 13(6): 593-598.

Machner, A., H. Wissel, D. Heitmann and G. Pap (1998). *"Changes in proprioceptive capacities of the shoulder joint in ventral shoulder instability. A comparative study before and after arthroscopic labrum refixation."* Sportverletz Sportschaden 12(4): 138-141.

Machner, A., H. Merk, R. Becker, K. Rohkohl, H. Wissel and G. Pap (2003). *"Kinesthetic sense of the shoulder in patients with impingement syndrome."* Acta Orthop Scand 74(1): 85-88.

Maenhout, A. G., T. Palmans, M. De Muynck, L. F. De Wilde and A. M. Cools (2012). *"The impact of rotator cuff tendinopathy on proprioception, measuring force sensation."* J Shoulder Elbow Surg 21(8): 1080-1086.

Magosch P, Lichtenberg S, Loew M, Tauber M, Habermeyer P. (2013) *"Die Klinische Untersuchung der Schulter."* Dtsch Z Sportmed 64 372 - 375.

Magosch, P. (2017): *„Differenzialdiagnose der Schultererkrankungen.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) *Schulterchirurgie*, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 182-225.

Mau, H., Breusch, S., Zeifang, F. (2017). *„Schulter: Traumatische u. habituelle Schultergelenkluxation.“* In: Breusch, S., Clarius, M., Mau, H., Sabo, D. (Hrsg) *Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie*, 8.Auflage, Urban & Fischer Verlag, Elsevier GmbH, München. S. 260-264.

Mense, S. (2010). *„ZNS – funktionelle Systeme.“* In: Aumüller G., Aust G., Doll A., Engele J., Kirsch J., Mense S., Reißig D., Salvetter J., Schmidt W., Schmitz F., Schulte E., Spanel-Borowski K., Wolff W., Wurzingler L. J., Zilch H.-G. (Hrsg) *Duale Reihe Anatomie. 2. überarbeitete Auflage*, Thieme, Stuttgart. S. 1078-1176.

Meßlinger, K. (2010). *„Somatoviszzerale Sensibilität.“* In: Klinke R., Pape H.-C., Kurtz A., Silbernagl S. (Hrsg) *Physiologie*. 6. Auflage, Thieme, Stuttgart. S. 644-673.

Murray, M. P., A. A. Seireg and S. B. Sepic (1975). *"Normal postural stability and steadiness: quantitative assessment."* J Bone Joint Surg Am 57(4): 510-516.

Myers, J. B., K. M. Guskiewicz, R. A. Schneider and W. E. Prentice (1999). *"Proprioception and neuromuscular control of the shoulder after muscle fatigue."* J Athl Train 34(4): 362-367.

Myers, J. B. and S. M. Lephart (2000). *"The role of the sensorimotor system in the athletic shoulder."* J Athl Train 35(3): 351-363.

Myers, J. B. and S. M. Lephart (2002). *"Sensorimotor deficits contributing to glenohumeral instability."* Clin Orthop Relat Res (400): 98-104.

Myers, J. B., C. A. Wassinger and S. M. Lephart (2006). *"Sensorimotor contribution to shoulder stability: effect of injury and rehabilitation."* Man Ther 11(3): 197-201.

Myers, J. B. and S. Oyama (2008). *"Sensorimotor factors affecting outcome following shoulder injury."* Clin Sports Med 27(3): 481-490.

Nakano, H. and M. Takahashi (1995). *"Study of standing exactitude determined by the scatter of the center of pressure--study of standing exactitude by center of pressure."* Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho 98(4): 599-605.

Naughton, J., R. Adams and C. Maher (2002). *"Discriminating overhead points of contact after arm raising."* Percept Mot Skills 95(3 Pt 2): 1187-1195.

Neviaser, R. J., M. T. Benke and A. S. Neviaser (2017). *"Mid-term to long-term outcome of the open Bankart repair for recurrent traumatic anterior dislocation of the shoulder."* J Shoulder Elbow Surg 26(11): 1943-1947.

Nyland, J. A., D. N. Caborn and D. L. Johnson (1998). *"The human glenohumeral joint. A proprioceptive and stability alliance."* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 6(1): 50-61.

Pallis, M., K. L. Cameron, S. J. Svoboda and B. D. Owens (2012). *"Epidemiology of acromioclavicular joint injury in young athletes."* Am J Sports Med 40(9): 2072-2077.

Patte, D. (1990). *"Classification of rotator cuff lesions."* Clin Orthop Relat Res (254): 81-86.

Paul, J., S. Vogt, T. Tischer and A. B. Imhoff (2009). *"Arthroscopic ventral shoulder stabilization."* Orthopäde 38(1): 31-35.

Pötzl, W., L. Thorwesten, C. Gotze, S. Garmann and J. Steinbeck (2004). *"Proprioception of the shoulder joint after surgical repair for Instability: a long-term follow-up study."* Am J Sports Med 32(2): 425-430.

Pomarino D, Nawrath A, Beyer J. (2013). *"Altersabhängige Messungen zur posturalen Stabilität gesunder Probanden."* OUP 2014; 9: 420–425.

Raymakers, J. A., M. M. Samson and H. J. Verhaar (2005). *"The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s)."* Gait Posture 21(1): 48-58.

Riemann, B. L., J. B. Myers and S. M. Lephart (2002). *"Sensorimotor system measurement techniques."* J Athl Train 37(1): 85-98.

Riemann, B. L. and S. M. Lephart (2002). *"The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability."* J Athl Train 37(1): 71-79.

Rockwood CA Jr (1984). *"Injuries to the acromioclavicular joint."* In: Rockwood CA, Green DP (eds) Fractures in adults, Vol. 1, 2nd edn. Lippincott, Philadelphia, pp 860–982.

Rokito, A. S., J. D. Zuckerman, M. A. Gallagher and F. Cuomo (1996). *"Strength after surgical repair of the rotator cuff."* J Shoulder Elbow Surg 5(1): 12-17.

Rowe, C. R. (1980). *"Acute and recurrent anterior dislocations of the shoulder."* Orthop Clin North Am 11(2): 253-270.

Rubin, B. D. and W. B. Kibler (2002). *"Fundamental principles of shoulder rehabilitation: conservative to postoperative management."* Arthroscopy 18(9 Suppl 2): 29-39.

Schmidt HM, Vahlensieck M. (1996). *"Clinical and radiologic anatomy of the shoulder region."* Radiologe ;36: 933-943.

Schneiders, W., Grass, R. & Zwipp, H. (2008). *"Injuries of the rotator cuff."* Trauma Berufskrankh 10 (Suppl 1): 13-15.

Shadmehr, R. and M. A. Arbib (1992). "A mathematical analysis of the force-stiffness characteristics of muscles in control of a single joint system." *Biol Cybern* 66(6): 463-477.

Shimba, T. (1984). "An estimation of center of gravity from force platform data." *J Biomech* 17(1): 53-60.

Shinozaki, N., H. Sano, R. Omi, K. N. Kishimoto, N. Yamamoto, M. Tashiro and E. Itoi (2014). "Differences in muscle activities during shoulder elevation in patients with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears: analysis by positron emission tomography." *J Shoulder Elbow Surg* 23(3): e61-67.

Siebold, R., Lichtenberg, S. & Habermeyer, P. (2003). „Treatment options in shoulder instability.“ *Trauma Berufskrankh* 5(Suppl 1): S114.

Smith, R. L. and J. Brunolli (1989). "Shoulder kinesthesia after anterior glenohumeral joint dislocation." *Phys Ther* 69(2): 106-112.

Spang, J. T., S. Buchmann, P. U. Brucker, P. Kouloumentas, T. Obst, M. Schroder, R. Burgkart and A. B. Imhoff (2009). "A biomechanical comparison of 2 transosseous-equivalent double-row rotator cuff repair techniques using bioabsorbable anchors: cyclic loading and failure behavior." *Arthroscopy* 25(8): 872-879.

Stäbler, A. (2017): „MRT der Schulter.“ In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) *Schulterchirurgie*, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 132-165.

Steinbeck, J., J. Bruntrup, O. Greshake, W. Pötzl, T. Filler and U. Liljenqvist (2003). "Neurohistological examination of the inferior glenohumeral ligament of the shoulder." *J Orthop Res* 21(2): 250-255.

Sullivan, J. A., M. A. Hoffman and R. A. Harter (2008). *"Shoulder joint position sense after thermal, open, and arthroscopic capsulorrhaphy for recurrent anterior instability."* J Shoulder Elbow Surg 17(3): 389-394.

Suprak, D. N., L. R. Osternig, P. van Donkelaar and A. R. Karduna (2006). *"Shoulder joint position sense improves with elevation angle in a novel, unconstrained task."* J Orthop Res 24(3): 559-568.

Tauber, M. (2013). *"Management of acute acromioclavicular joint dislocations: current concepts."* Arch Orthop Trauma Surg 133(7): 985-995.

Tauber, M., Hedtmann, A., Fett, H. (2017): *„Erkrankungen und Verletzungen des Akromio- und Sternoklavikulargelenks.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) Schulterchirurgie, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 273-308.

Tempelhof, S., S. Rupp and R. Seil (1999). *"Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders."* J Shoulder Elbow Surg 8(4): 296-299.

Terry GC, Hammon D, France P, Norwood LA (1991). *"The stabilizing function of passive shoulder restraints."* Am J Sports Med. 19: 26-34.

Thomas, M., O. Dieball and M. Busse (2003). *"Normal values of the shoulder strength in dependency on age and gender--comparison with the constant, UCLA, ASES scores and SF36 health survey."* Z Orthop Ihre Grenzgeb 141(2): 160-170.

Thomazeau, H., P. Gleyze, L. Lafosse, G. Walch, F. Kelberine and H. Coudane (2000). *"Arthroscopic assessment of full-thickness rotator cuff tears."* Arthroscopy 16(4): 367-372.

Tossy, J. D., N. C. Mead and H. M. Sigmund (1963). *"Acromioclavicular separations: useful and practical classification for treatment."* Clin Orthop Relat Res 28: 111-119.

Tripp, B. L. (2008). *"Principles of restoring function and sensorimotor control in patients with shoulder dysfunction."* Clin Sports Med 27(3): 507-519.

Uhl, T. L., T. J. Carver, C. G. Mattacola, S. D. Mair and A. J. Nitz (2003). *"Shoulder musculature activation during upper extremity weight-bearing exercise."* J Orthop Sports Phys Ther 33(3): 109-117.

Ulkar, B., B. Kunduracioglu, C. Cetin and R. S. Guner (2004). *"Effect of positioning and bracing on passive position sense of shoulder joint."* Br J Sports Med 38(5): 549-552.

Vangsness, C. T., Jr., M. Ennis, J. G. Taylor and R. Atkinson (1995). *"Neural anatomy of the glenohumeral ligaments, labrum, and subacromial bursa."* Arthroscopy 11(2): 180-184.

Voight, M. L., J. A. Hardin, T. A. Blackburn, S. Tippett and G. C. Canner (1996). *"The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception."* J Orthop Sports Phys Ther 23(6): 348-352.

Wallace, D. A., D. J. Beard, R. H. Gill, B. Eng and A. J. Carr (1997). *"Reflex muscle contraction in anterior shoulder instability."* J Shoulder Elbow Surg 6(2): 150-155.

Whiteley, R. J., R. D. Adams, L. L. Nicholson and K. A. Ginn (2008). *"Shoulder proprioception is associated with humeral torsion in adolescent baseball players."* Phys Ther Sport 9(4): 177-184.

Wiedemann, E. (2017): *„Pathologie und Pathomechanik der Schulterinstabilität.“* In: Habermeyer, P., Lichtenberg, S., Loew, M., Magosch, P., Martetschläger, F., Tauber, M. (Hrsg) *Schulterchirurgie*, 5. Auflage, Urban & Fischer, München. S. 20-34.

Wilk, K. E. and C. Arrigo (1993). *"Current concepts in the rehabilitation of the athletic shoulder."* J Orthop Sports Phys Ther 18(1): 365-378.

Wilk, K. E., C. A. Arrigo and J. R. Andrews (1997). *"Current concepts: the stabilizing structures of the glenohumeral joint."* J Orthop Sports Phys Ther 25(6): 364-379.

Wooden, M. J., B. Greenfield, M. Johanson, L. Litzelman, M. Mundrane and R. A. Donatelli (1992). *"Effects of strength training on throwing velocity and shoulder muscle performance in teenage baseball players."* J Orthop Sports Phys Ther 15(5): 223-228.

Wyke, B. (1967). *"The neurology of joints."* Ann R Coll Surg Engl 41(1): 25-50.

Yamaguchi, K., K. Ditsios, W. D. Middleton, C. F. Hildebolt, L. M. Galatz and S. A. Teefey (2006). *"The demographic and morphological features of rotator cuff disease. A comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders."* J Bone Joint Surg Am 88(8): 1699-1704.

Yamamoto, A., K. Takagishi, T. Osawa, T. Yanagawa, D. Nakajima, H. Shitara and T. Kobayashi (2010). *"Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population."* J Shoulder Elbow Surg 19(1): 116-120.

Zuckerman, J. D., M. A. Gallagher, F. Cuomo and A. Rokito (2003). *"The effect of instability and subsequent anterior shoulder repair on proprioceptive ability."* J Shoulder Elbow Surg 12(2): 105-109.

10 Lebenslauf

11 Danksagung

Zuallererst gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. A. B. Imhoff für die Möglichkeit der Durchführung dieses Projekts in seiner klinischen Einrichtung.

Besonderen Dank möchte ich Dr. med. Sven Reuter aussprechen, der die Arbeit als Mentor durchgehend begleitete und selbstverständlich meinem Betreuer und Doktorvater PD Dr. med. Knut Beitzel M.A. für die stets wertvolle Hilfe, die Begeisterung für das Projekt sowie die fortwährende Unterstützung und Betreuung.

Auch Herrn PD Dr. med. Stefan Buchmann danke ich sehr herzlich für die insbesondere finale Unterstützung im Rahmen der Fertigstellung der Arbeit.

Großer Dank gilt auch Herrn Dr. phil. Fabian Stöcker, der mir hinsichtlich des gesamten technischen Messverfahrens eine unersetzliche Hilfe und ein jederzeit verlässlicher Ansprechpartner war.

Meinen Eltern danke ich für die fortwährend seelische und wirtschaftliche Unterstützung meines gesamten Lebens- und Ausbildungsweges, ohne die diese Arbeit schlichtweg nicht existieren würde.

Abschließend möchte ich meinen ganz besonderen und allergrößten Dank an meine Frau und meine Tochter richten, die mir so häufig den Rücken freigehalten haben und mir stets den nötigen Halt gaben.

12 Anhang

Constant-Schulter-Score

Name, Vorname: _____	Betroffene Schulter: <input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Geb.-Datum: _____	Dominanter Arm: <input type="checkbox"/> re <input type="checkbox"/> li
Untersuchungsdatum: _____	

Schmerz: (der am stärksten verspürte im Verlauf des täglichen Lebens)

kein	mild	mäßig	starke Schmerzen													
0 – 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15																
Punkte: 15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	_____ 15

Alltagsaktivitäten:

Arbeitsfähigkeit: 0 – 1 – 2 – 3 – 4

Freizeit-/Sportfähigkeit: 0 – 1 – 2 – 3 – 4

Schlaffähigkeit: 0 – 1 – 2

Handreichweite: Verrichtung von Arbeiten schmerzlos möglich bis

Gürtellinie	Xiphoid	Hals	Scheitel	über den Kopf hinaus	_____ 20
2	4	6	8	10	

Motilität: schmerzfrei + aktiv !

	Flexion:	Abduktion:
0° - 30°	0	0
31° - 60°	2	2
61° - 90°	4	4
91° - 120°	6	6
121° - 150°	8	8
151° - 180°	10	10

Außenrotation: (Punkte jeweils addieren)

Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen nach vorne	2
Hand auf dem Scheitel, Ellenbogen zur Seite	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen nach vorne	2
Hand am Hinterkopf, Ellenbogen zur Seite	2
Uneingeschränkte Überkopfbeweglichkeit	2

Innenrotation:

Handrücken auf Außenseite des Oberschenkels	0
Handrücken auf Gesäß	2
Handrücken auf lumbosacralem Übergang	4
Handrücken auf Gürtellinie (3. LWK)	6
Handrücken auf 12. Rückenwirbel	8
Handrücken zwischen den Schulterblättern	10
	_____ 40

Kraft: Messwert: _____ kg → entsprechenden Punktwert unten markieren

90° Abduktion in der Scapularebene, Hand proniert.

Messung mit Isobex Kraftmessgerät (Cursor AG, Bern, Schweiz). 1 Punkt entspricht einem Pfund (=0,45 kg)

1 P 0,45 kg	6 P 2,7 kg	11 P 4,95 kg	16 P 7,2 kg	21 P 9,45 kg
2 P 0,9 kg	7 P 3,15 kg	12 P 5,4 kg	17 P 7,65 kg	22 P 9,9 kg
3 P 1,35 kg	8 P 3,6 kg	13 P 5,85 kg	18 P 8,1 kg	23 P 10,35 kg
4 P 1,8 kg	9 P 4,05 kg	14 P 6,3 kg	19 P 8,55 kg	24 P 10,8 kg
5 P 2,25 kg	10 P 4,5 kg	15 P 6,75 kg	20 P 9,0 kg	25 P 11,25 kg

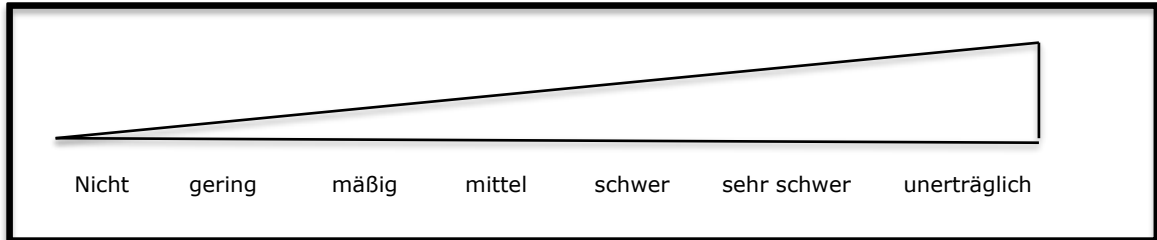
Untersucher: _____ Gesamtpunktzahl: _____

100

Constant Schulter Score; in Anlehnung an (Constant & Murley 1987)

ASES-Score

VAS - Schmerzintensität



Tägliches Leben

Bitte bei folgenden Fragen ankreuzen wie Sie die genannten Aktivitäten im Alltag meistern können: (0=nicht möglich; 1=sehr schwierig; 2=leichte Schwierigkeiten; 3=problemlos)

	rechts				links			
Mantel/Jacke anziehen	0	1	2	3	0	1	2	3
Schlafen auf dem Arm	0	1	2	3	0	1	2	3
Rücken waschen/BH verschließen	0	1	2	3	0	1	2	3
Selbstständig waschen	0	1	2	3	0	1	2	3
Haare kämmen	0	1	2	3	0	1	2	3
Ein hohes Regal erreichen	0	1	2	3	0	1	2	3
5 kg über Schulterhöhe heben	0	1	2	3	0	1	2	3
Ball überkopf werfen	0	1	2	3	0	1	2	3
Alltägliche Arbeit	0	1	2	3	0	1	2	3
Sport	0	1	2	3	0	1	2	3

ASES Score; in Anlehnung an (Goldhahn et al. 2018)