

Abteilung für Sportorthopädie der Technischen Universität München
Klinikum rechts der Isar
Leitung: Univ.- Prof. Dr. A. Imhoff

Elektromyographische Untersuchung zum „Belly off Zeichen“ in der
klinischen Diagnostik bei kombinierten Rotatorenmanschettenrupturen

Holger Lemke

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

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

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. A Imhoff
2. apl. Prof. Dr. K. Wörtler

Die Dissertation wurde am 23.01.2012 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 18.04.2012 angenommen.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 EINLEITUNG	3
1.1 Anatomie und Funktion der Rotatorenmanschette	3
1.1.1 Biomechanik	7
1.2 Pathophysiologie und Epidemiologie von Verletzungen der Rotatorenmanschette	13
1.2.1 Impingement Syndrom	15
1.2.1 Ruptureinteilung.....	17
1.2.2 Anamnese und klinische Symptomatik.....	18
1.4 Etablierte klinische Tests der Funktion des M. subscapularis	20
1.5 Bildgebende Diagnostik.....	23
1.5.1 Atrophie und fettige Degeneration.....	27
1.6 Therapie.....	29
1.6.1 Konservative Therapie.....	30
1.6.2 Operative Therapie.....	31
1.6.3 Ruhigstellung	34
1.7 Prognostisch wirksame Faktoren	35
1.7.1 Positive Prognose.....	35
1.7.2 Negative Prognose	36
1.8 Ziel der Arbeit	37
2 EIGENE UNTERSUCHUNGEN.....	38
2.1 Material und Methoden.....	38
2.2 Elektrophysiologische Untersuchung	41
2.2.1 Testvorbereitung.....	41
2.2.2 Untersuchungstechnik	42
2.2.3 Elektromyographie.....	44
2.3 Verarbeitung der Rohdaten	47
3 ERGEBNISSE	50
3.1 Klinische Beurteilung der Tests.....	50
3.2 Elektrophysiologische Daten	51
3.2.1 Vergleich zwischen Patienten- und Probandengruppe	51
3.2.2 Vergleich von Tests vor und hinter dem Körper.....	59

3.2.3 Muskelaktivitäten Patienten und Probanden	63
4 DISKUSSION.....	65
4.1 Fehlerquellen	69
4.2 Fazit	70
5 TABELLENVERZEICHNIS	71
6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS	72
7 LITERATURVERZEICHNIS	74
8 ANHANG	81
8.1 Abkürzungsverzeichnis	81
8.2 Lebenslauf	83
9 DANKSAGUNG.....	85

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Studie wurde die diagnostische Aussagekraft des „Belly off Zeichens“ bezüglich der Funktion des M. subscapularis im klinischen und elektrophysiologischen Vergleich mit den bisherigen Standardtests untersucht. Dazu wurden insgesamt 17 Patienten und 10 Probanden untersucht, sowohl klinisch als auch mittels Ableitung von 11 Muskelgruppen während der Durchführung von M. subscapularis spezifischen Tests. Dabei wurden die Daten der Muskelaktivität von Patienten mit isolierten und kombinierten SSC-Rupturen mit denen von gesunden Probanden verglichen. Es wurden die im klinischen Alltag üblichen Tests, im einzelnen „Lift off Test“, „Innenrotations- lag -Zeichen“ und „Belly press Test“ durchgeführt, hierbei elektromyographisch die Muskelaktivität der verschiedenen Muskelgruppen abgeleitet, aufgezeichnet und anschließend mit der Muskelaktivität bei Durchführung des „Belly off Zeichens“ verglichen. Besonderes Augenmerk lag auf einer möglichen Aussagekraft in Bezug auf die Funktion des M. subscapularis. Des Weiteren wurde untersucht inwieweit andere Muskelgruppen außerhalb der Rotatorenmanschette deren Funktion im Falle einer Schädigung kompensieren.

Das „Belly off Zeichen“ spiegelt die Unfähigkeit des Patienten wieder, die gestreckte Hand bei passiv flektiertem und maximal innenrotiertem Arm auf den Bauch zu halten. Dabei wird vom Untersucher die gestreckte Hand des Patienten auf dessen Bauch platziert, während die andere Hand des Untersuchers den Ellenbogen des Patienten passiv unterstützt. Wenn es dem Patienten nicht möglich ist, diese Position eigenständig zu halten, spricht man von einem positiven „Belly off Zeichen“ [70].

Die elektrophysiologischen Daten wurden in Zusammenarbeit mit der neurologischen Klinik rechts der Isar, unter Zuhilfenahme intramuskulärer und oberflächlicher Elektroden ermittelt. Anschließend wurden diesen Daten ausgewertet und miteinander verglichen, um Rückschlüsse auf die Aktivitätsmuster der einzelnen Muskelgruppen ziehen zu können und deren Aussagekraft zu überprüfen.

In dieser Studie zeigte sich die gute Anwendbarkeit des „Belly off Zeichens“ auch bei Patienten, bei denen sämtliche anderen klinischen Tests mit Schmerzen einhergingen. Zudem wird der Test - im Gegensatz zum ebenfalls passiven „IRLS“ - vor dem Körper

des Patienten durchgeführt, was ebenfalls eine bessere Durchführbarkeit ermöglicht, da viele Patienten aufgrund von Schmerzen Schwierigkeiten haben, den innenrotierten Arm zum Rücken zu führen.

Das Zurückfedern der Hand bei positivem „Belly off Zeichen“ wird nach aktueller Lehrmeinung durch das relative Überwiegen der Außenrotatoren bei Läsionen des M. subscapularis verursacht, sodass der Patient nicht in der Lage ist, diese Position selbstständig zu halten [71].

Es zeigte sich weiterhin, dass eine sinnvolle und möglichst genaue Aussage nur durch die kombinierte Durchführung aller klinischen Tests möglich ist. Durch gezielte standardisierte klinische Untersuchungen können Schultergelenkspathologien präzise diagnostiziert werden und es gelingt in den meisten Fällen bereits klinisch eine korrekte Diagnose zu stellen.

1 EINLEITUNG

1.1 Anatomie und Funktion der Rotatorenmanschette

Die Rotatorenmanschette des Menschen erfüllt zwei wichtige Aufgaben: Einerseits stabilisiert sie den Humeruskopf in der Cavitas glenoidalis, andererseits dient sie der Bewegungsausführung.

Das Schultergelenk, per definitionem ein Kugelgelenk, ist eines der komplexesten Gelenke des Bewegungsapparates des Menschen. Die Schulter wird in mehrere funktionelle Einheiten unterteilt, die durch ihr Zusammenwirken den großen Bewegungsradius des Armes ermöglichen. Als Schultergelenk bezeichnet man die gelenkige Verbindung zwischen der Cavitas glenoidalis der Skapula und dem Humerus. Da die Kontaktfläche des Gelenks relativ klein ist, muss die Stabilität muskulär, ligamentär und kapsulär sichergestellt werden. Die Führung im Gelenk wird hauptsächlich von der Rotatorenmanschette erfüllt, die aus den Mm. subscapularis, supraspinatus, infraspinatus und teres minor besteht (Tab. 1).

Muskel	Ursprung	Ansatz	Innervation	Funktion
SSC	Fascies costalis, Fossa subscapularis	Tuberculum minus humeri, Crista tuberculi minoris	N. subscapularis C5-C7	Adduktion (SSC2), Abduktion (SSC1), Innenrotation
SSP	Fossa supraspinata, kaudaler Rand der Spina scapulae, Fascia supraspinata	Tuberculum majus humeri	N. suprascapularis C5-C6	Abduktion, Außenrotation
ISP	Fossa infraspinata scapulae, Fascia infraspinata	Tuberculum majus humeri, Facies musculi infraspinati	N. suprascapularis C5-C6	Adduktion, Abduktion, Außenrotation
TM	Margo lateralis scapulae, Angulus inferior	Distale Facette des Tuberculum majus humeri	N. axillaris C4-C5	Adduktion, Retroversion, Innenrotation

Tabelle 1

Muskulatur der Rotatorenmanschette [65].

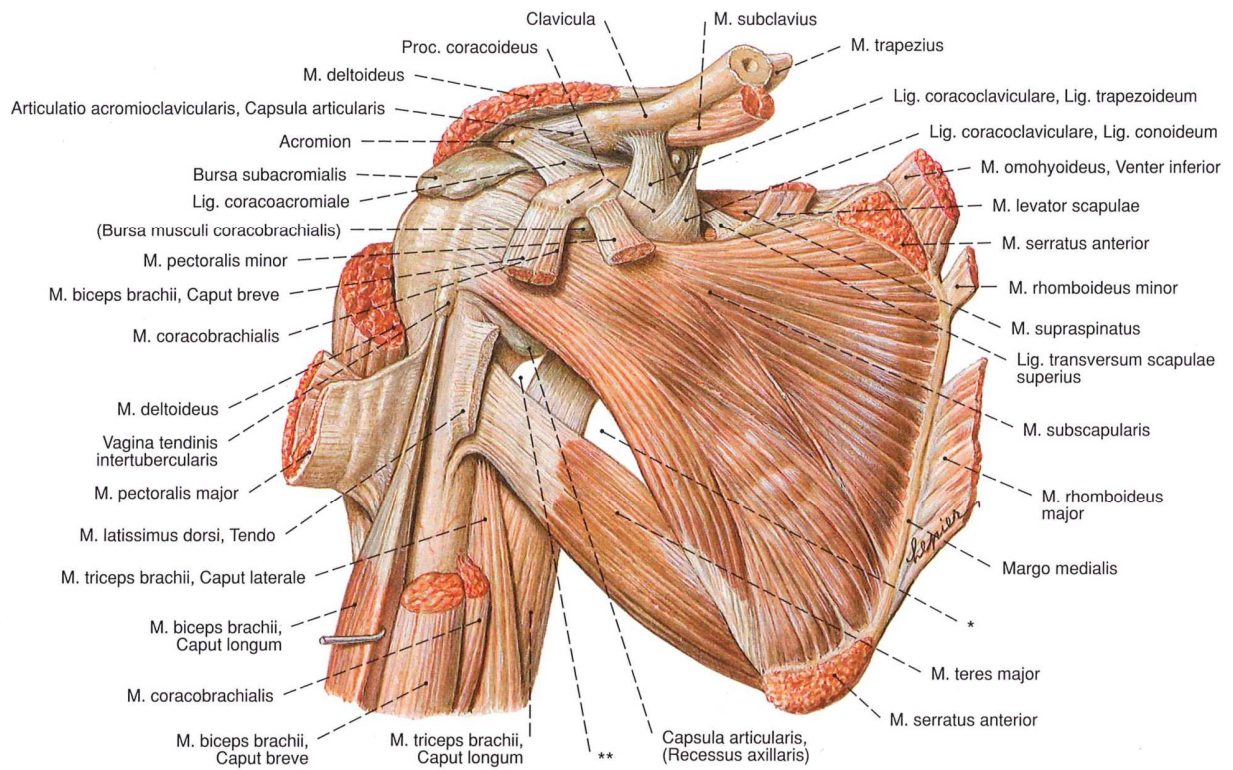


Abbildung 1

Blick auf die Schultermuskulatur von ventral [65].

Lage des M. subscapularis mit oberem und unterem Anteil

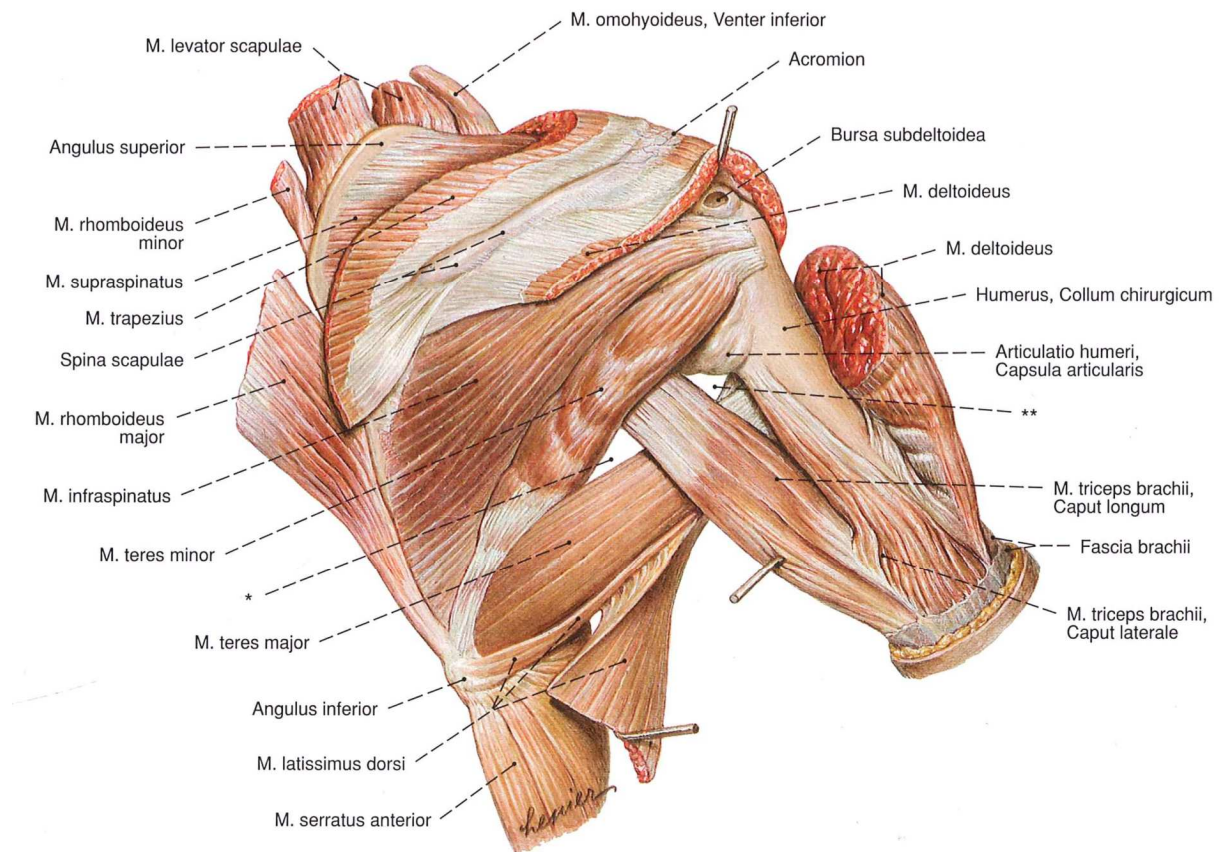


Abbildung 2

Blick auf die Schultermuskulatur von dorsal [65].

Lage des M. supraspinatus, M. infraspinatus und M. teres minor

Das Zusammenspiel dieser Muskeln, Sehnen und Bänder ist besonders für die Stabilität im Schultergelenk wichtig, da der Humeruskopf etwa 4-mal so groß ist wie die Gelenkpfanne [39,55,56]. Die Muskeln der Rotatorenmanschette umgreifen den Humeruskopf und zentrieren ihn im Glenoid.

Neben der Bewegung im Glenohumeralgelenk kommt es während der Elevation des Arms zu einer Kippung der Scapula, sodass eine Abduktion über 90° erfolgen kann. Für diese Funktionen sind zwei Muskelgruppen verantwortlich, die ventrale Muskelgruppe bestehend aus M. pectoralis minor, M. subscavius und M. serratus anterior, sowie die dorsale Gruppe gebildet durch den M. trapezius, M. levator scapulae und M. rhomboideus major und minor. Diese Eigenschaft ermöglicht dem Schultergelenk die größte Beweglichkeit aller Gelenke [45,55].

Die Gelenkkapsel trennt die Sehnen und Muskeln vom Gelenkbinnenraum. Die gelenkferne Seite der Rotatorenmanschette wird von Schleimbeuteln bedeckt, die ein Gleiten der Muskulatur im subakromialen Raum ermöglichen (Abb. 3).

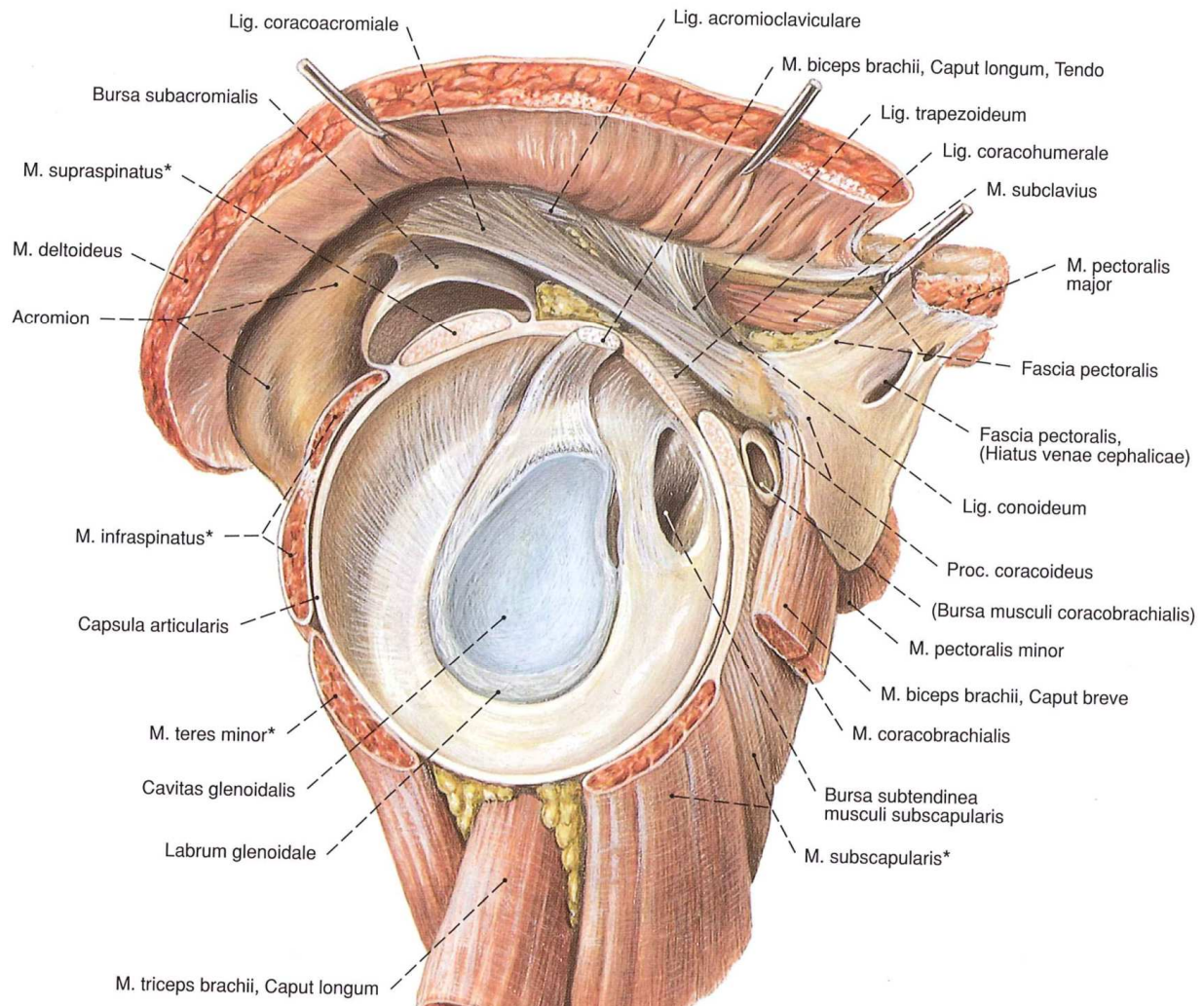


Abbildung 3

Blick auf die Schulter von lateral auf die Cavitas glenoidalis [65].

Ansatz der Mm. SSC, SSP, ISP, TM

1.1.1 Biomechanik

Die Sonderstellung der Schulter unter den menschlichen Gelenken ergibt sich aus der außerordentlichen Mobilität in diesem Gelenk, der zwangsläufig eine ausreichende Stabilisierung entgegengestellt werden muss.

Die bisher bekannten biomechanischen Daten zur Schulterfunktion basieren in erster Linie auf Erkenntnissen, die in Versuchen mit anatomischen Schulterpräparaten gewonnen wurden, die es ermöglichten, das Zusammenspiel statischer und dynamischer Stabilisatoren am Glenohumeralgelenk aufzuzeigen [24].

1.1.1.1 Physiologische Mobilität

Die große Beweglichkeit erlangt das Schultergelenk durch den Aufbau der Schulter als Gelenkkette, welche sich aus 5 Gelenken zusammensetzt: *Articulatio glenohumerale*, *Articulatio acromioclaviculare*, *Articulatio sternoclaviculare*, *Articulatio thoracoscapulare* sowie subacromialer Raum [24].

Der Bewegungsapparat wird durch 12 Muskel gesteuert, welche sich nach Lage und Wirkung nach Perry in 3 Gruppen einteilen lassen [15,64]. Als periphere Gruppe werden die Muskelgruppen bezeichnet die vom Thorax ausgehend zum Humeruskopf ziehen. Hierzu zählt der sternale Anteil des *M. pectoralis major*, *M. latissimus dorsi* und der *M. teres major*. Die oberflächliche Gruppe setzt sich aus den Anteilen des *M. deltoideus*, *M. pectoralis major*, *M. coracobrachialis* und dem *M. biceps brachii* zusammen. Die tiefe Gruppe wird von den Muskeln der Rotatorenmanschette gebildet.

Ein weiterer wichtiger Faktor, der zum außerordentlichen Bewegungsausmaß im Schultergelenk beiträgt, ist die kleine Kontaktfläche zwischen *Cavitas glenoidalis* und Humeruskopf. Dies kommt durch die flache Ausprägung der *Cavitas glenoidalis* mit kleiner Gelenkfläche im Zusammenspiel mit dem großen, der Gelenkpfanne aufsitzenden Humeruskopf mit einer etwa viermal so großen kartilaginären Gelenkfläche zustande [54].

Folgende Achsen werden bei der Auslenkung im Schultergelenk unterschieden: Abduktion/Adduktion in der Frontalebene, Anteversion/Retroversion in der Sagittalebene sowie Innenrotation/Außenrotation in der Transversalebene (Abb. 4).

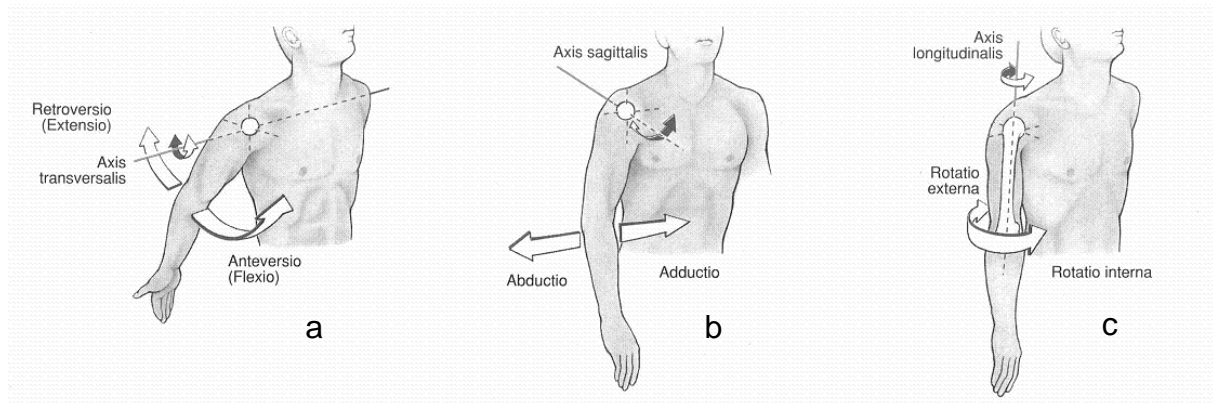


Abbildung 4

Bewegungen des Schultergelenkes: (a). Sagittalebene, (b). Frontalebene, (c). Transversalebene [69].

Eine Abduktion im Glenohumeralgelenk ist bis 90° möglich, durch Kippung der Skapula kann eine weitere Abduktion bis 150° erfolgen, durch gleichzeitige Außenrotation des Humerus auch bis 180° . Die maximale Adduktion beträgt 45° und ist in leichter Ante- oder Retroversion, aufgrund der Bewegungseinschränkung durch die Thoraxwand jedoch nicht aus der Neutral-Null-Stellung heraus durchführbar.

Die Anteversion in der Sagittalebene allein im Glenohumeralgelenk ist wiederum bis 90° möglich, mit Beteiligung des Schultergürtels bis etwa 160° , durch weitere Dorsalextension der Wirbelsäule auch bis 180° . Eine Retroversion kann bis 50° erfolgen.

Die maximal mögliche Innenrotation aus der Neutral-0-Stellung heraus beträgt ca. 110° , die Außenrotation etwa 60° und lässt sich am besten bei Flexion des Ellenbogens um 90° prüfen.

1.1.1.2 Physiologische Stabilisierung

Bedingt durch das Mißverhältnis zwischen großem Humeruskopf und kleiner Cavitas glenoidalis fehlt eine ausreichende knöcherne Stabilisierung im Glenohumeralgelenk. Die funktionelle Stabilität wird stattdessen durch kapsuläre, ligamentäre und muskuläre Strukturen gewährleistet [31].

1.1.1.2.1 Kapsuläre und ligamentäre Stabilisierung

Die Gelenkkapsel des Schultergelenkes ist schlaff und weist ligamentäre Verstärkungszüge auf. Die ligamentäre Stabilisierung des Glenohumeralgelenkes wird durch die Ligg. glenohumerale inferius, glenohumerale medius, glenohumerale superius und coracohumerale bedingt. Diese befinden sich im vorderen Teil des Schultergelenkes (Abb. 5 und Abb. 6).

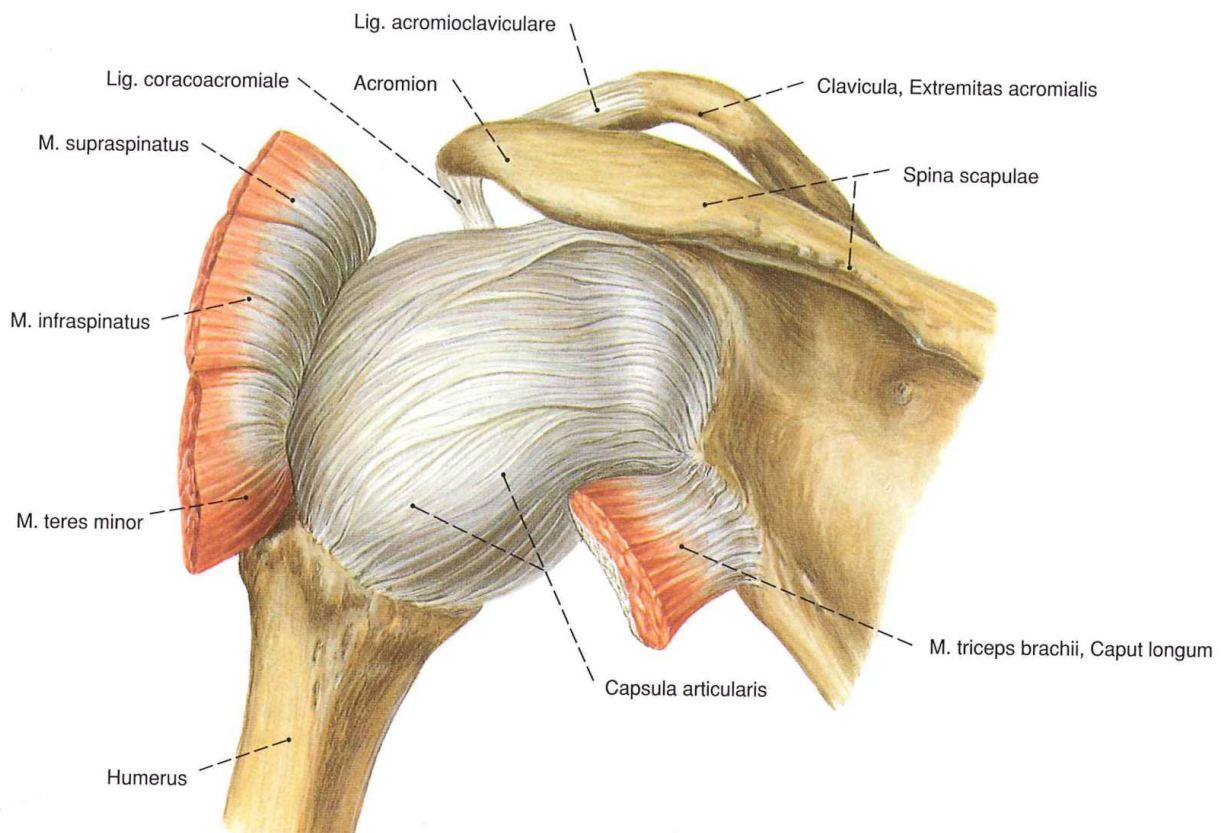


Abbildung 5

Kapsuläre und ligamentäre Strukturen des Schultergelenk von dorsal [65].

Der dorsale Gelenkbereich wird nur durch die Gelenkkapsel und die Muskulatur gebildet. Der kraniale Anteil wird durch das Lig. coracohumerale verstärkt. Das Lig. glenohumerale inferius sorgt für die Stabilität bei Außenrotation und Abduktion. Das Lig. glenohumerale medius limitiert die Außenrotation indem es sich bei zunehmender Außenrotation anspannt. Diese Bänder stellen eine Verdickung der vorderen und unteren Kapsel dar und stabilisieren passiv das Gelenk. Das Lig. coracohumerale entspringt an der Basis sowie am lateralen Rand des Processus coracoideus, zieht über den proximalen Teil des Sulcus intertubercularis und setzt an dem Tuberculum majus und minus an. Das Lig. coracohumerale verstärkt die Kapsel zwischen der Sehneneinstrahlung des M. supraspinatus und M. subscapularis. Es dient der Führung und Stabilisierung im Schultergelenk und limitiert die Flexion und Adduktion [47].

Die Gelenkklippe, das sogenannte Labrum glenoidale, vergrößert die Kontaktfläche des Humeruskopfes, zudem ermöglicht sie den Aufbau eines negativen intraartikulären Drucks, der zu einem Anpressen des Humeruskopfes in die Cavitas glenoidalis führt und so zu einer weiteren Stabilisierung beiträgt. Das kaudale Labrum ist der mediale Ansatz des Lig. glenohumerale inferius, das kraniodorsale Labrum wird durch den Ansatz der langen Bizepssehne gebildet [3,18,31].

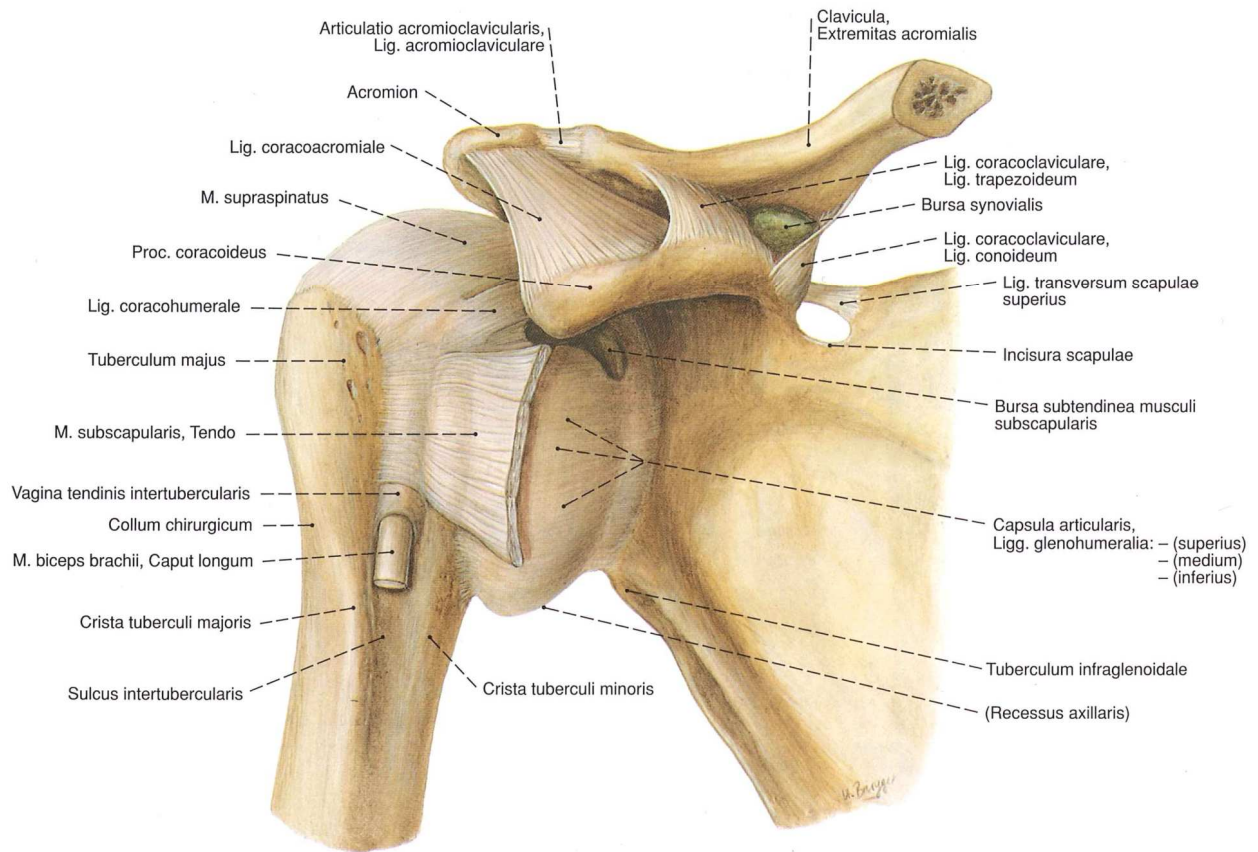


Abbildung 6

Kapsuläre und tendinöse Führung im Schultergelenk von ventral [65].

1.1.1.2.2 Muskuläre Stabilisierung

Die Rotatorenmanschette gebildet aus Mm. supraspinatus, infraspinatus, teres minor und subscapularis fungieren als aktive Stabilisatoren und zentrieren den Humeruskopf im Glenoid. Ein weiterer wichtiger Stabilisator des Humeruskopfes bildet der M. deltoideus mit seinen drei Anteilen (anterior, medius und posterior), welcher den Humeruskopf wie eine Haube überzieht und so zu einer Führung im Glenoid beiträgt (Abb. 1 und 2).

Der M. infraspinatus bildet gemeinsam mit dem M. teres minor die dorsale Begrenzung. Der M. infraspinatus entspringt aus der Fossa infraspinata und heftet sich

am Tuberculum majus und der Gelenkkapsel an. Der M. infraspinatus ist der kräftigste Außenrotator im Schultergelenk und ebenfalls für die Adduktion verantwortlich. Die nervale Versorgung erfolgt durch den N. suprascapularis.

Der M. teres minor entspringt am lateralen Scapularand und inseriert an der dorsalen Gelenkkapsel und dem Tuberculum majus. Die Innervation erfolgt durch den N. axillaris.

Der M. subscapularis ist ein platter, dreieckiger Muskel der an der Linea muskularis entspringt und die gesamte Fossa subscapularis bedeckt, er zieht unter dem Processus coracoideus hindurch und inseriert hauptsächlich am Tuberculum minus humeri. Der M. subscapularis wird von einer kräftigen Fascie bedeckt, die fest an den Rändern der Scapula verankert ist. Er bildet die ventrale Begrenzung und ist der stärkste Innenrotator des Schultergelenkes. Außerdem spielt er bei der vorderen glenohumeralen Stabilität eine entscheidende Rolle, da seine Endsehne einer vorderen Schulterluxation entgegenwirkt [53,58]. Die Unterteilung in separate Funktionsuntereinheiten im Sinne von kranialem und kaudalem Anteil wird durch die getrennte Innervation unterstrichen [48,49], die durch den oberen und unteren Anteil des N. subscapularis (C5-C7) erfolgt [27,41].

Der M. supraspinatus hat seinen Ursprung in der Fossa supraspinata. Die Sehne des Muskels zieht unter dem Akromion über den Humeruskopf zum Tuberculum majus an welches sie ansetzt. Der Muskel bildet die kraniale Begrenzung. Die Innervation wird vom N. suprascapularis übernommen.

Der M. deltoideus hat drei Ursprungsorte: Der anteriore Anteil entspringt an der Clavikula, der mediale Anteil dem Akromion und der posteriore Anteil an der Spina scapulae. Die Ansatzsehne setzt an der Tuberositas deltoidea an und verschmilzt außerdem mit der Fascia infraspinata. Durch diesen Aufbau ist der Deltamuskel sowohl bei der Adduktion (anteriorer, posteriorer Anteil), der Abduktion (medialer Anteil), als auch bei der Innenrotation (anteriorer Anteil) und der Außenrotation (posteriorer Anteil) beteiligt. Die Innervation wird vom N. axillaris übernommen [18,31].

Die Muskeln der Rotatorenmanschette wirken als Depressoren des Oberarmkopfes und verhindern so eine Dislokation des Oberarmkopfes nach kranial, entgegen der Kraft des M. deltoideus, welcher den Oberarmkopf nach kranial bewegt. Des Weiteren

reduzieren die hinteren Anteile der Rotatorenmanschette sowie die Bizepssehne die Spannung des Lig. glenohumerale inferius [18,31].

1.2 Pathophysiologie und Epidemiologie von Verletzungen der Rotatorenmanschette

Die Prävalenz der Rotatorenmanschettenrupturen in der Bevölkerung lässt sich anhand von autoptischen Untersuchungen auf etwa 5 bis 39 % beziffern [19,63]. Rotatorenmanschettenrupturen entstehen entweder aufgrund von degenerativen Veränderungen oder durch ein direktes Trauma der Schulter. Häufig löst erst ein Trauma bei bereits vorbestehenden degenerativen Veränderungen der Sehne eine Rotatorenmanschettenruptur aus und führt so zur klinischen Manifestation. Dabei handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um vorbestehende kleinere Verletzungen der Supraspinatus- und Infraspinatussehne, die aufgrund eines Traumas ausgeprägter und dadurch klinisch auffällig werden [6].

Heutzutage treten gerade im fortgeschrittenen Alter bei chronisch vorgeschädigter Sehne akute Läsionen der Rotatorenmanschette auf, was sich durch eine hohe Lebenserwartung und eine im hohen Alter noch sportlich aktive Gesellschaft erklären lässt [51] (Tab. 2, Abb. 7).

Hingegen werden die selteneren isolierten Läsionen der Subscapularissehne zu 70 % durch ein alleiniges adäquates Trauma verursacht [7,77]. Dies wird meist bei einer vorderen Schulterluxation beobachtet [8,69].

Bei der Mehrzahl der Sehnenrupturen der Mm. supraspinatus und infraspinatus liegt also meist eine degenerative Vorschädigung vor, während isolierte Rupturen des M. subscapularis in der Mehrheit auf ein adäquates Trauma zurückzuführen sind. In den meisten Fällen treten Rupturen des M. subscapularis allerdings in Kombination mit Verletzungen des M. supraspinatus und M. infraspinatus auf [21].

In einigen Bereichen der Rotatorenmanschette, insbesondere im Übergangsbereich zwischen Muskel und Sehne gibt es sogenannte hypovaskuläre Zonen, bei welchen es infolge von Nekrosen zu Mikrorupturen oder dystrophischen Kalkablagerungen kommen kann. Diese schlecht durchbluteten Bereiche der Rotatorenmanschette sind folglich besonders anfällig für degenerative Umbauprozesse und somit auch bei

Rupturen der entsprechenden Anteile häufig betroffen [59,62,67]. Degenerative Umbauprozesse können durch ständig wiederholte Bewegungen, wie z.B. Überkopfarbeiten oder Wurfsporarten gefördert werden.

Die häufigsten Läsionen beginnen im Bereich der latero-superioren Insertionsstelle der Sehne des M. subscapularis am Tuberculum minus des Humerus und nehmen ihren weiteren Verlauf nach medial und inferior [62,67].

Postmortale Untersuchungen konnten zeigen, dass eine Häufung von partiellen Rupturen des M. subscapularis ab dem 5. Lebensjahrzehnt besteht [57].

Wie in Tabelle 2 und Abbildung 7 zu erkennen ist, muss man mit zunehmendem Alter des Patienten mit Partialrupturen der Rotatorenmanschette rechnen und bei Bedarf therapieren. Dabei werden viele der Partialrupturen klinisch nicht auffällig und bedürfen aus diesem Grund keiner Therapie [66].

Bei Rupturen der Rotatorenmanschette kommt es, insbesondere bei größeren Abrissen, zu einem Höherentreten des Humeruskopfes unter das Akromion, was zu einem Einklemmphanomen, dem sogenannten Impingement Syndrom führt.

Lebensalter	Partialrupturen der RM
40 Jahre	0 -1 %
50 Jahre	5%
60 Jahre	11%
70 Jahre	50%
80 Jahre	80%

Tabelle 2

Häufigkeit von partiellen Rupturen der Rotatorenmanschette in Abhängigkeit des Alters aus Untersuchungen im Rahmen von Autopsien [63].

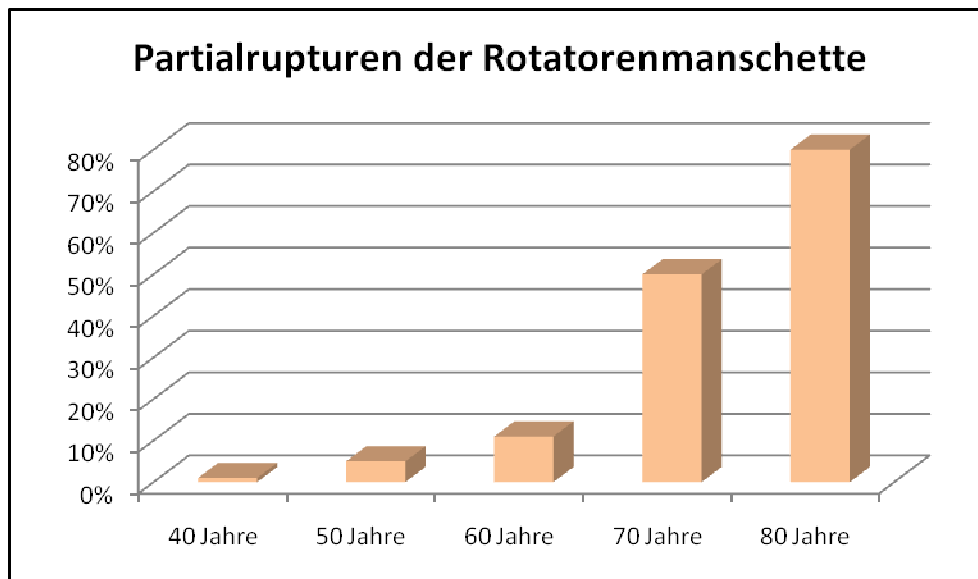


Abbildung 7

Partialrupturen der Rotatorenmanschette bezogen auf das Lebensalter [63].

1.2.1 Impingement Syndrom

Der Begriff „Impingement Syndrom“ wurde 1972 von Charles Neer eingeführt [59]. Hierbei handelt es sich um ein subacromiales Engpaßsyndrom, welches durch ein Anstoßen der Sehnen der Rotatorenmanschette, insbesondere der Supraspinatussehne, am Vorderrand des Schulterdaches eine schmerzhafte Funktionsstörung der Schulter hervorruft. Einige Autoren verwenden auch synonym den Begriff des „Painful arc Syndrome“ [50]. Es ist durch Schmerzen bei einer Abduktionsbewegung zwischen 60° und 120° gekennzeichnet, da es in diesem Bereich zu Einklemmphenomenen der Sehnen unter dem Akromion kommt [30]. Heute wird der Begriff „Impingement-Syndrom“ für eine große Anzahl verschiedener Schultererkrankungen verwendet, die als gemeinsames Symptom vor allem Schmerzen bei Überkopfarbeiten aufweisen. Es können aber auch Schmerzen in Ruhe oder beim Liegen auf der entsprechenden Schulter auftreten. Hierbei kommt es aufgrund des teilweisen oder kompletten Ausfalles der Rotatorenmanschette zu einem Übergewicht zugunsten des M. deltoideus und durch ein Höherentreten des Humeruskopfes zur Einklemmung. Ein aufgetretenes Impingement Syndrom muss bei der operativen Therapie berücksichtigt und beseitigt werden, um eine regelrechte

Funktion zu gewährleisten. Imhoff unterscheidet bei der Entstehung eines Impingement Syndroms zwischen intrinsischen und extrinsischen Faktoren. Die extrinsischen können nochmals unterteilt werden in primäres und sekundäres Impingement [9]. Alle mechanischen Ursachen die zu einer Einklemmung führen werden zum primären Impingement gezählt. Hierzu zählen zum Beispiel die Normvarianten des Akromions die sich nach Bigliani in flach (Typ A), bogenförmig (Typ B) und hakenförmig (Typ C) unterteilen lassen (Abb. 8). Hierbei kommt es bei den Typen B & C zu einer Verschmälerung des subacromialen Bereiches, was zu einem Impingement Syndrom führen kann [9]. Unter sekundärem Impingement wird ein Höherentreten des Humeruskopfes im Glenohumeralgelenk aufgrund einer Instabilität oder unnatürlicher muskulärer oder neurogener Funktion der Rotatorenmanschette verstanden. Bei intrinsischen Faktoren handelt es sich um Schädigungen, welche die Sehnen selbst betreffen. Diese geschieht beispielsweise bei einer Minderdurchblutung oder degenerativer Vorschädigung der Muskulatur [9,43].

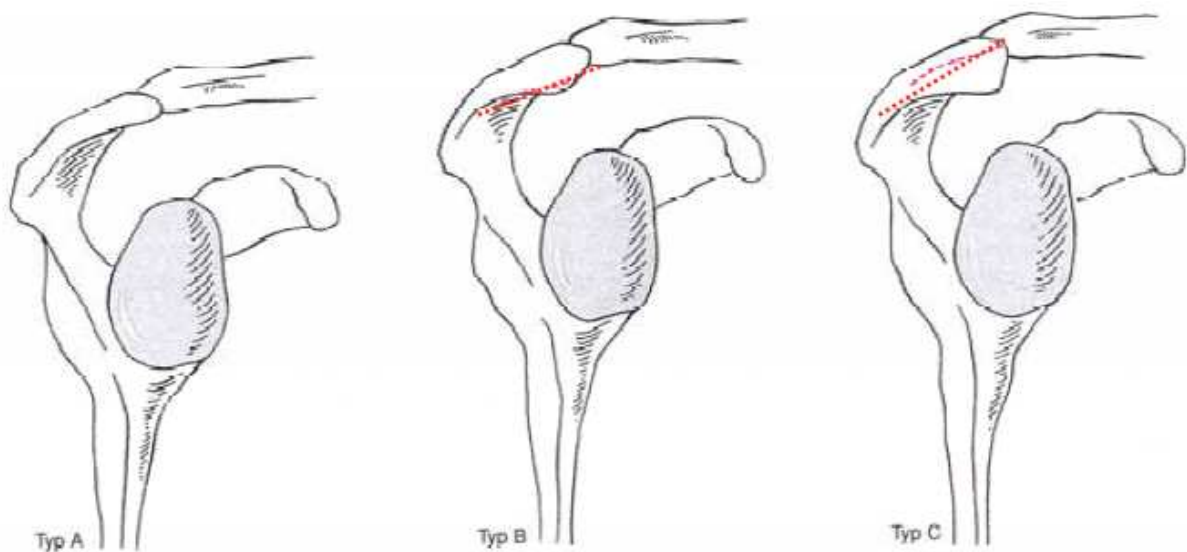


Abbildung 8

Normvarianten des Akromions nach Bigliani: Flach (Typ A), bogenförmig (Typ B), hakenförmig (Typ C) [32].

1.2.1 Ruptureinteilung

1.2.1.1 Komplette Rotatorenmanschettenrupturen

Als komplette Rotatorenmanschettenrupturen werden vollständige Kontinuitätsunterbrechungen einer Sehne bezeichnet, die entsprechend ihrer Größe nach Bateman eingeteilt:

Typ I: < 1 cm

Typ II: 1-3 cm

Typ III: 3-5 cm

Typ IV: > 5 cm

Hinsichtlich der Lokalisation wird die Rotatorenmanschette nach Habermeyer in 3 Zonen unterteilt [1].

-Zone A: SSC

-Zone B: SSP

-Zone C: ISP und Teres minor

Umso mehr Zonen beteiligt sind oder je größer eine Ruptur ist, desto schwieriger gestaltet sich eine zufriedenstellende Therapie.

1.2.1.2 Partielle Rotatorenmanschettenrupturen

Unter Partialrupturen werden Kontinuitätsunterbrechungen bei erhaltener Sehnenstruktur mit einzelnen gerissenen Sehnenfaserbündeln bezeichnet. Die arthroskopische Klassifikation nach Ellman [17] bezieht sich auf die relative Größe der Partialruptur bezogen auf den gesamten Sehnendurchmesser.

Klassifikation nach Ellman:

Grad 0: Normalbefund

Grad 1: $< \frac{1}{4}$ des Sehndurchmessers oder $< 3\text{mm}$

Grad 2: $< \frac{1}{2}$ des Sehndurchmessers oder $< 6\text{mm}$

Grad 3: $> 6\text{mm}$

1.2.2 Anamnese und klinische Symptomatik

Anamnese und klinische Untersuchung spielen bei Defekten der Rotatorenmanschette eine zentrale Rolle. Ein Defekt kann klinisch vermutet werden, entscheidend ist aber die differenzierte Funktionsbeurteilung einzelner Abschnitte der Rotatorenmanschette. Erst durch die klinische Diagnostik können bildgebenden Diagnoseverfahren wie Röntgen, Sonographie und Magnetresonanztomographie hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt werden. Durch die klinischen Tests lässt sich häufig schon im Vorfeld eine richtungsweisende Diagnose stellen [71].

Typischerweise geben die Patienten einen bewegungs- oder belastungsabhängigen Schmerz an, welcher besonders bei Abduktion und Rotation auftritt. Einige Patienten klagen über nächtlichen Schmerz der betroffenen Seite beim Liegen oder über eine Kraftminderung, die ein Anzeichen für eine fortgeschrittene Degeneration oder Komplettruptur der betroffenen Muskulatur darstellt [71].

Isolierte Rupturen des M. subscapularis sind in der Mehrzahl der Fälle traumatisch bedingt, beispielsweise nach vorderen Luxationen der Schulter [11].

Inspektorisch zeigt sich bei kompletten Rupturen des M. subscapularis ein Abweichen der betroffenen Extremität in Außenrotation sowie eine aktiv und passiv eingeschränkte Innenrotation, was durch das Übergewicht der Außenrotatoren (Gegenspieler) erklärt werden kann.

Die klinische Symptomatik von Rotatorenmanschettenrupturen hängt im Wesentlichen von Ihrer Lokalisation und Ihrer Ausdehnung ab. Während kleinere

Läsionen eher mit Schmerzen verbunden sind, führen Massenrupturen zu Funktionsverlust, Kraftverlust und Instabilität [11,13,29,60].

Inspektorisch weisen Muskelatrophien z.B. der Fossa supra- oder infraspinatus auf eine längere Zeit bestehende Rotatorenmanschettenruptur hin.

Umgekehrt führen Rupturen der Außenrotatoren wie M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor zu einer Innenrotationsstellung des betroffenen Armes und zu einer sowohl aktiv als auch passiv eingeschränkten Außenrotation. Häufig treten diese Rupturen kombiniert auf, was zu einer Verstärkung der Symptome führen kann.

1.4 Etablierte klinische Tests der Funktion des M. subscapularis

Wie bereits geschildert ist der M. subscapularis der stärkste Innenrotator des Oberarms, hilft bei der Adduktion und spannt die Gelenkkapsel. Bei An- oder Abrissen dieser Sehne haben sich verschiedene in der Literatur beschriebene Tests und Zeichen in der klinischen Diagnostik bewährt.

Der „Lift off Test“ wurde von Gerber und Krushell 1991 beschrieben [21,22] (Abb. 9). Bei der Durchführung wird die Hand auf der Seite der betroffenen Schulter in Retroversion und Innenrotation an die Lumbalregion des Rückens angelegt. Der Test ist positiv, wenn es dem Patienten nicht gelingt, den im 90°-Winkel positionierten Arm vom Rücken abzuheben.



Abbildung 9

Durchführung des Lift off Test: Ausgangsposition (a) und Zielposition (b)

Vom „IRLS“, wie es von Hertel et al. beschrieben wurde, spricht man, wenn der Patient seine Hand, die von der selben Ausgangssituation wie beim „Lift off Test“ passiv vom Untersucher in eine Position mit maximaler Innenrotation der Schulter gebracht wurde, nicht selbstständig in dieser Position halten kann und es zu einem Zurückfallen der Hand gegen den Rücken kommt [39] (Abb. 10).

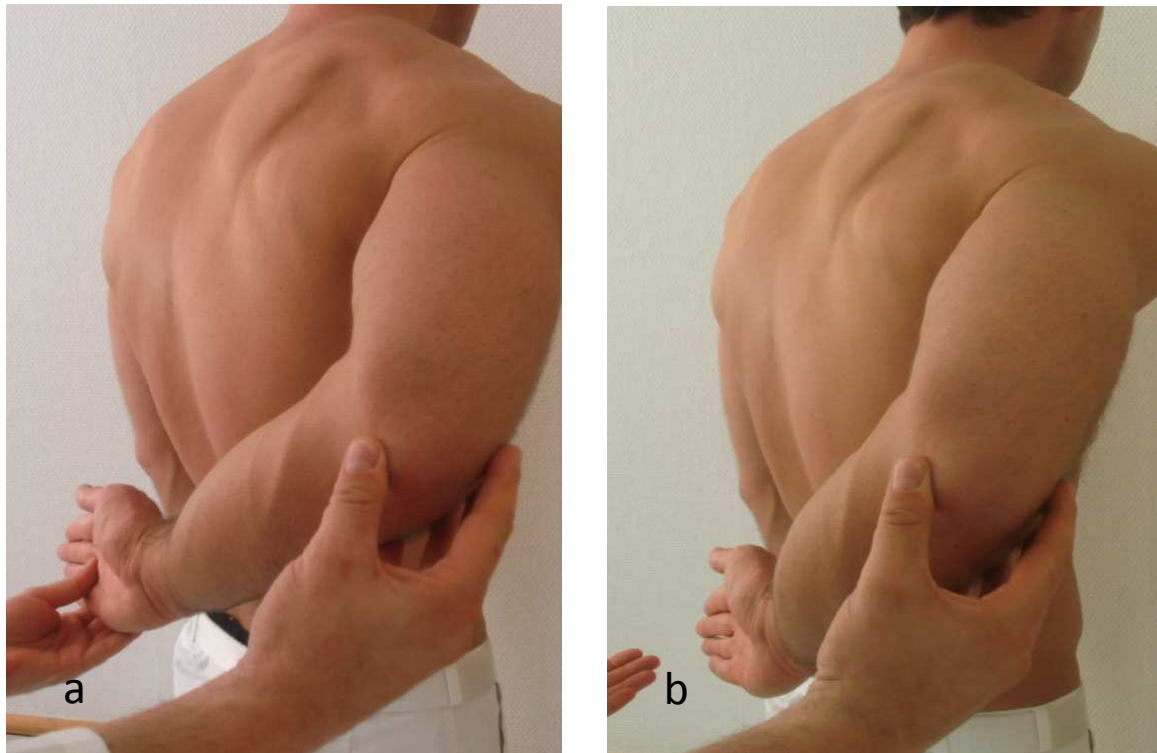


Abbildung 10

Durchführung des Innenrotations-Lag- Zeichen: Ausgangsposition (a) und pathologischer Test mit Zurückfallen des Armes (b)

Der „Belly press Test“ wurde anfänglich entwickelt um die Integrität des M. subscapularis auch bei Patienten klinisch zu evaluieren, bei denen eine schmerzhaft eingeschränkte Innenrotation vorlag und deshalb der „Lift off Test“ und das „IRLS“ nicht durchgeführt werden konnten [21]. Der Patient drückt die auf dem Bauch ruhende Hand mit im Ellenbogengelenk gebeugtem Unterarm und gestrecktem Handgelenk gegen die Bauchwand und versucht dabei, den Ellenbogen vor den Körper zu nehmen, was eine zusätzliche Innenrotationsbewegung im Schultergelenk voraussetzt. Gelingt dies nicht, kommt es zu einer Flexion im Handgelenk und die Schulter wird angehoben [71,75] (Abb.11)

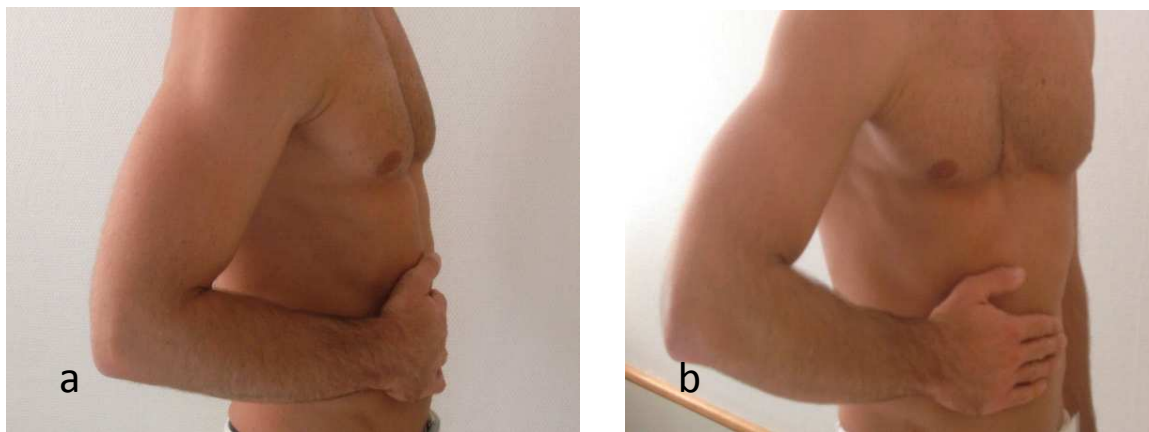


Abbildung 11

Durchführung des Belly press Tests: Ausgangsposition (a); Zielposition (b)

Als weiteres klinisches Zeichen wurde das „Belly off Zeichen“ untersucht, bei dem die gestreckte Hand bei passiv flektiertem und maximal innenrotiertem Arm auf dem Bauch gehalten werden muss. Der Arm des Patienten wird vom Untersucher passiv in eine Flexions- und maximale Innenrotationsposition gebracht. Während die eine Hand des Untersuchers die gestreckte Hand des Patienten auf dessen Bauch platziert, unterstützt die andere Hand den Ellenbogen. Der Patient wird nun aufgefordert, diese Position, mit Unterstützung des Ellenbogens, alleine zu halten. Gelingt ihm dies nicht, lässt sich ein Zurückfedern der Hand vom Bauch beobachten, was als positives „Belly off Zeichen“ bezeichnet wird [71] (Abb. 12).

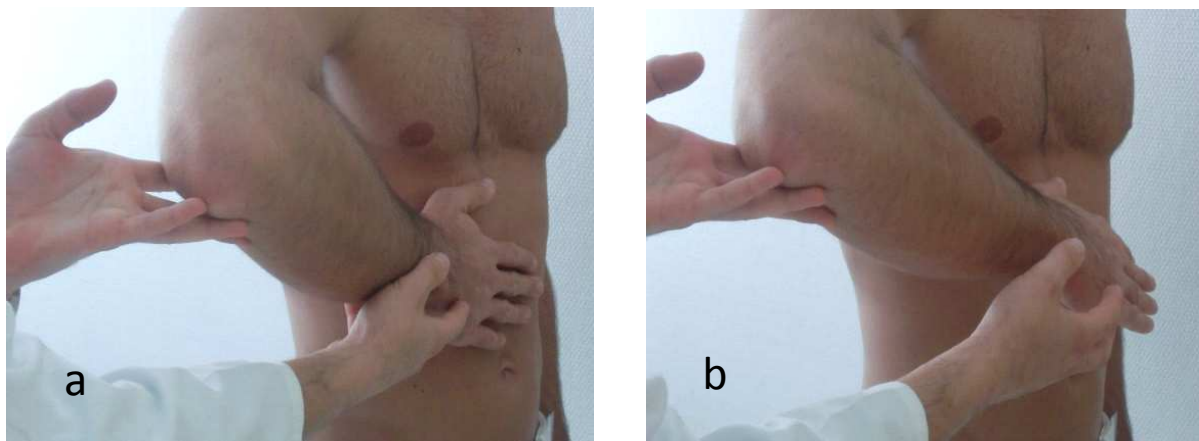


Abbildung 12

Durchführung des Belly off Tests: Ausgangsposition (a); und pathologischer Test mit dem Zurückfedern der Hand vom Bauch

1.5 Bildgebende Diagnostik

In der bildgebenden Diagnostik haben sich verschiedene Verfahren als hilfreich erwiesen. Auf konventionellen Röntgenaufnahmen kann man bei Schädigung der Rotatorenmanschette ein Höherentreten des Humeruskopfes gegen das Akromion sowie anteriore / posteriore Escape Phänomene beobachten, eine Schädigung im Bereich des Tuberculum majus oder minus im Sinne von Verkalkungen oder knöchernen Läsionen kann als Hinweis auf eine Schädigung der Insertionsregion der Rotatorenmanschette gewertet werden. In manchen Fällen können Kalkablagerungen an den Sehnen der Muskulatur nachgewiesen werden. Ebenso kann das

Vorhandensein von Osteophyten und inferioren AC- Gelenksosteophyten auf eine Rotatorenmanschettenruptur hindeuten. Sie erlaubt allerdings keine Aussagen über den Zustand der Weichteile und ist somit nur als orientierende Diagnostik anzusehen. Obligate Bestandteile sind die Nativröntgenaufnahme im a.-p.-Strahlengang sowie eine axiale und eine Outlet - view - Aufnahme [1] (Abb.13 und Abb. 14).



Abbildung 13
Outlet-view - Aufnahme.



Abbildung 14
Nativröntgenaufnahme im true-a.-p.-Strahlengang

Die Sonographie ist die kostengünstigste und schnellste Möglichkeit, Verletzungen der Rotatorenmanschette zu bewerten, allerdings bedarf dieses Verfahren großer Erfahrung seitens des Untersuchers, um valide Aussagen zu treffen [38]. Diese Untersuchung erlaubt als Einzige Standarduntersuchung eine dynamische Untersuchung, wobei Veränderungen der Muskulatur bei verschiedenen Bewegungen beurteilt werden können, was bei der Differenzierung von Komplet- und Partialrupturen hilfreich sein kann. Heutzutage stellt die Magnetresonanztomographie nach einer Röntgenaufnahme oder Sonographie das Standardverfahren dar, da hiermit präzise Aussagen insbesondere bezüglich Weichteilverletzungen getroffen werden können. Die MRT-Diagnostik hat in den letzten Jahren als nicht invasive Untersuchungsmethode immer mehr an Popularität gewonnen. Sie ist ein aufwendiges Schnittbildverfahren mit höchstem Weichteilkontrast und räumlicher Auflösung zur Darstellung der anatomischen Strukturen. Sie erlaubt eine genaue Beurteilung des Zustands der Muskulatur der Rotatorenmanschette, von intratendinösen

Veränderungen, sowie Atrophien und Verfettungen. Weiter ermöglicht sie eine Unterscheidung zwischen Partial- und Totalrupturen der Rotatorenmanschette, wobei speziell eine Unterscheidung von Tendinitis und Partialruptur sehr schwierig ist [4].

Spezifität und Sensitivität des MRT bezogen auf Verletzungen der Rotatorenmanschette sind in der Literatur unterschiedlich bewertet. Imhoff und Mitarbeiter berichten über eine Sensitivität von 83,3% und Spezifität von 90,3% [42]. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von Zlatkin et. al. mit einer Sensitivität von 91% und Spezifität von 88% veröffentlicht [78].

Die drei Schichtebenen bei der Magnetresonanztomographie der Schulter sind die transversale, schräg-coronare und schräg-sagittale Ebene. Je nach Ebene lassen sich bestimmte anatomische Strukturen besser beurteilen [76].

Sichere Zeichen einer Rotatorenmanschettenruptur sind eine Unterbrechung der Kontinuität und Flüssigkeitsansammlungen in der Bursa subacromialis.

Partielle Rupturen können durch eine Signalerhöhung auf den T2-gewichteten Aufnahmen sichtbar werden. Vollständige Rupturen haben je nach Alter unterschiedliche Signalcharakteristika. Bei frischen Rupturen kommt es zum Ödem innerhalb des Defektes, was sich in der T1-Wichtung signalarm und in der T2-Wichtung signalreich darstellt. Ältere Rupturen zeigen sich in der T2-Wichtung oft signalarm [76].

In Abhängigkeit des Alters und der Größe der kompletten Ruptur kann es zur Verfettung von Muskelgewebe kommen, was gleichzeitig ein wichtiger Prognosefaktor für das Ergebnis einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion ist [26,44]. Diese fettige Atrophie des Muskelbauches zeigt sich in den T1-gewichteten Aufnahmen als lineare oder fokale Signalerhöhung innerhalb des Muskels [76].

Eine genaue Bildgebung ist zur operativen Planung einer RM-Rekonstruktion unverzichtbar, sie ersetzt aber zu keinem Zeitpunkt die Anamneseerhebung und klinische Untersuchung des Patienten (Abb. 15 und Abb. 16).

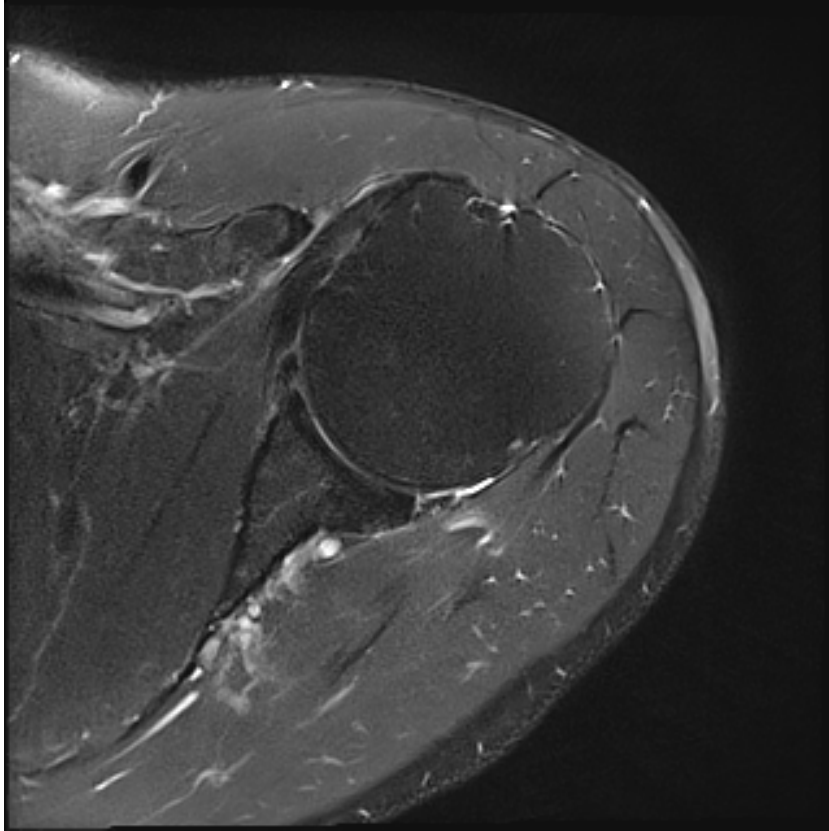


Abbildung 15
MRT Transversalebene

1.5.1 Atrophie und fettige Degeneration

Diese Parameter sind zur Planung einer RM-Rekonstruktion wichtige Indikatoren. Dabei meint der Begriff der Atrophie die Volumenreduktion des betroffenen Muskels, während der Begriff der fettigen Degeneration die Fetteinlagerung des Muskels bezeichnet. Bezüglich der Atrophie wurden mehrere Konzepte entwickelt: Das Tangenzzeichen nach Thomazeau et. al. [20] ist positiv, wenn der Muskelbauch des M. supraspinatus unterhalb einer Verbindungslinie, die bei schräg saggitaler Sequenz auf Höhe der Korakoidbasis liegt. Dieses Konzept berücksichtigt ausschließlich den M. supraspinatus und geht nicht auf die Mitbeteiligung der Mm. infraspinatus und subscapularis ein (Tab. 3).

Grad I	Normaler oder gering atrophiertes Muskel, bei welchem das Verhältnis zwischen Muskel und Fossa supraspinata zwischen 1,0 und 0,6 liegt
Grad II	Mäßige Atrophie, das Verhältnis Muskel zur Fossa supraspinata liegt zwischen 0,6 und 0,4
Grad III	Schwere Atrophie, das Verhältnis Muskel zur Fossa supraspinata liegt unter 0,4

Tabelle 3

Klassifikation der Muskelatrophien in der MRT Diagnostik nach Thomazeau et. al [20].

Anfang der 90 Jahre stellte Goutallier et al. eine noch heute gültige CT basierte Klassifikation der fettigen Degenerationen der Rotatorenmanschette auf, wobei vier Grade unterschieden werden (Tab. 4) [25,26].

Grad I	Vereinzelte Fettstreifen in der Muskulatur
Grad II	Fettmasse < Muskelmasse
Grad III	Fettmasse = Muskelmasse
Grad IV	Fettmasse > Muskelmasse

Tabelle 4

Einteilung von Verfettungen der Rotatorenmanschette nach Goutallier [25,26].



Abbildung 16

MRT schräg-coronare Ebene (a) und schräg-sagittale Ebene (b)

1.6 Therapie

Ziel einer klinischen und bildgebenden Diagnostik ist es eine pathologiekonforme Therapiestrategie zu entwickeln um den Bedürfnissen der Patienten gerecht zu werden [34].

Hierbei können zwei Formen der Therapie unterschieden werden.

- *Konservative Therapie*

- *Operative Therapie*

1.6.1 Konservative Therapie

Beschwerden ohne vorangegangenes adäquates Trauma können häufig konservativ therapiert werden. Als Kriterien für eine konservative Therapie können folgende Punkte herangezogen werden [35]:

1. langsamer Beginn
2. degenerative Genese
3. inaktiver Patient
4. Non Compliance

Nach Rockwood lässt sich die konservative Therapie in 3 Phasen unterteilen [72]:

1. Phase: Analgetische antiphlogistische Therapie.
2. Phase: Muskulärer Aufbau
3. Phase: Belastungssteigerung und Ergotherapie

Der konservativen Therapie sind aber deutliche Grenzen gesetzt. Es kommt nach Bokor in 94% der Fälle zu persistierender Schwäche sowie in 54% zu Muskelatrophien [5]. Eine Heilung bei gesicherter Rotatorenmanschettenruptur wird von Noel nur in 40% der Fälle beschrieben [61].

Die Entscheidung für eine operative Therapie wird beim Versagen der konservativen Therapie bei degenerativen Rotatorenmanschettenrupturen sowie bei perakuten Traumasituationen gestellt. Dabei spielt das Patientenalter im Bezug auf die postoperativen Ergebnisse eine geringere Rolle als bisher angenommen [37].

Des Weiteren muss man berücksichtigen, dass die heutige Gesellschaft auch noch bis ins hohe Alter sportlich aktiv ist und somit das Alter eines Patienten nicht immer ein Kriterium gegen eine operative Versorgung darstellen sollte [35].

1.6.2 Operative Therapie

Jeder Operation geht eine diagnostische Arthroskopie voraus, da sie den bildgebenden Diagnoseverfahren überlegen ist und somit einen entscheidenden Faktor der Operationsplanung darstellt [1].

Als Kontraindikationen für eine operative Therapie müssen folgende Punkte berücksichtigt werden [35]:

1. passiv nicht frei bewegliches GH Gelenk
2. Non Compliance des Patienten
3. Infektionen im Schulterbereich
4. ausgeprägte Muskelatrophien
5. deutliche Muskelverfettung im MRT

Hierbei ist die non-Compliance nochmals hervorzuheben, da sich einer operativen Versorgung eine langwierige und intensive Nachbehandlung anschließen muss, um so eine sinnvolle Rehabilitation der Schulter mit gutem funktionellen Ergebnis zu erzielen. Hierüber sollte der Patient schon während des Aufklärungsgespräches informiert werden.

Bei Rupturen des M. subscapularis sollte eine operative Versorgung so früh wie möglich durchgeführt werden, da sich mit zunehmender Dauer die Ergebnisse deutlich verschlechtern [14]. In der Literatur wird ein Zeitraum von bis zu 3 Monaten angegeben, danach werden deutlich schlechtere Resultate erzielt.

Die wichtigsten prognostischen Faktoren bezüglich des „Outcome“ stellen allerdings die Rupturgröße und die Qualität der Rehabilitation dar [10].

Die Arthroskopie ist ein unerlässlicher Partner der offenen Chirurgie und hat zum Teil die klassischen Verfahren der Gelenkfreilegung ersetzt. Umgekehrt ist eine alleinige Spezialisierung der arthroskopischen Technik unvollständig und nicht in der Lage den Gesamtbereich der Rupturen abzudecken. Die Verfahren der Arthroskopie und der

offenen Operationstechnik müssen je nach Verletzungsmuster miteinander Verbunden werden, um für den Patienten ein ideales Ergebnis zu erzielen [33].

1.6.2.1 Kriterien für eine operative Therapie

Bei Erfüllung der folgenden Kriterien gilt eine konservative Therapie als kontraindiziert [35]:

- primäre Beteiligung des M. subscapularis und / oder M. infraspinatus wegen folgender Insuffizienz der Kopfzentrierung
- anamnestisch auslösendes Trauma
- aktiver Patient im Arbeitsleben, mit gesicherter Compliance
- Zustand nach Schulterluxation
- hoher Funktionsanspruch in Freizeit und Sport
- funktioneller Verlust der unteren Extremität (Rollstuhlfahrer) oder der kontralateralen oberen Extremität.

1.6.2.2 Weiterführende Therapie nach operativer Versorgung

Zeitpunkt	Therapie	Bewegungsausmaß
1./2. Tag	Abschwellende Maßnahmen, Thoraxabduktionskissen	
1./2. Woche	kontralaterales Krafttraining, passive Mobilisation, Pendeln ohne Add/ AR	passiv Abd -60° passiv Flex -60° keine Add./ AR
3. Woche	Thoraxabduktionskissen ab, Isometrische Übungen, Add./ Ext. gegen Wd.	passiv Abd -80° passiv Flex -80° passiv AR und IR
ab 4. Woche	Intensive Übungen, aktive und passive Übungen, aktiv gegen Widerstand	aktiv Abd -80° aktiv Flex. -80° aktiv AR. / IR.
ab 7. Woche	Vollbelastung, Kraft- Ausdauertraining, aktiv gegen Widerstand	Frei Kein Überkopfsport
ab 4. Monat	Wurfsportarten	

Tabelle 5.

Nachbehandlungsschema nach operativer Versorgung von Rotatorenmanschettenrupturen.

1.6.3 Ruhigstellung

Bei der konservativen sowie nach operativer Therapie werden heute zur besseren Wundheilung und Ruhigstellung hauptsächlich zwei Verfahren verwendet.

Zu erwähnen ist das Thoraxabduktionkissen, hierbei wird der Oberarm durch einen Stoffkeil in eine leichte Abduktionshaltung gebracht. Hierdurch sollen Kontrakturen im Bereich der Schulter verhindert und eine spannungsfreie Adaptation nach operativer Rekonstruktion gewährleistet werden. Aus diesem Grund ist dieses System insbesondere nach operativer Rekonstruktion zu empfehlen (Abb. 17).



Abbildung 17
Thoraxabduktionskissen (DonJoy, Vista, CA)

Ein weiterer und lediglich zur symptomatischen Therapie bestimmter Verband ist der Gilchristverband. Er dient hauptsächlich der Ruhigstellung und somit der analgetischen sowie symptomatischen Therapie. Dieser Verband findet zur kurzfristigen Ruhigstellung in Kombination mit krankengymnastischer Übungsbehandlung seine Anwendung (Abb. 18).



Abbildung 18
Gilchristverband (MAL Noba, Hannover)

1.7 Prognostisch wirksame Faktoren

Bestimmte Faktoren lassen a priori eine Einteilung in prognostisch günstige und ungünstige Formen der Rotatorenmaschettenruptur zu [35], wie bereits im vorhergehenden Kapitel erläutert hängt hiervon zum Teil auch die Therapieentscheidung ab.

1.7.1 Positive Prognose

- isolierte Ruptur
- Acromio-Humeraler Abstand (AHA) $> 7\text{mm}$
- geringgradige Retraktion der Sehne
- geringe oder keine intramuskuläre Verfettung

- longitudinaler Rupturverlauf

- < 3cm Rupturlänge

1.7.2 Negative Prognose

- Atrophie/ Verfettung

- Vordere Subluxation bei Abduktion (Beteiligung des M. subscapularis)

- Acromio-Humeraler Abstand AHA < 5mm

- Kombinierte Rupturen

1.8 Ziel der Arbeit

Die bisher bekannten klinischen Untersuchungen des M. subscapularis der Rotatorenmanschette, nämlich „Lift off Test“, „IRLS“ und „Belly press Test“, zeigten in bisher durchgeführten Studien die Möglichkeit auf, klinisch zwischen Läsionen des oberen und des unteren Anteils des M. subscapularis differenzieren zu können. Inwieweit eine Übernahme der Funktion des geschädigten Anteils der Rotatorenmanschette durch andere Muskelgruppen eine Rolle spielt, wurde bislang nicht überprüft. Um dies zu untersuchen, evaluierten wir die Muskelaktivität bei 17 Patienten mit Läsionen des M. subscapularis und verglichen sie mit Ergebnissen bei gesunden Probanden ohne jegliche Einschränkungen oder Vorschädigungen.

Ein weiteres Ziel der Arbeit bestand darin, einen neuen klinischen Test, das so genannte „Belly off Zeichen“ zu etablieren und seine klinische Aussagekraft in Bezug auf Verletzungen des M. subscapularis im Vergleich zu den herkömmlichen Tests aufzuzeigen.

2 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

2.1 Material und Methoden

In dieser Studie wurden 17 Patienten mit degenerativen oder traumatischen Rotatorenmanschettenrupturen und 10 gesunde Probanden elektrophysiologisch untersucht und miteinander verglichen.

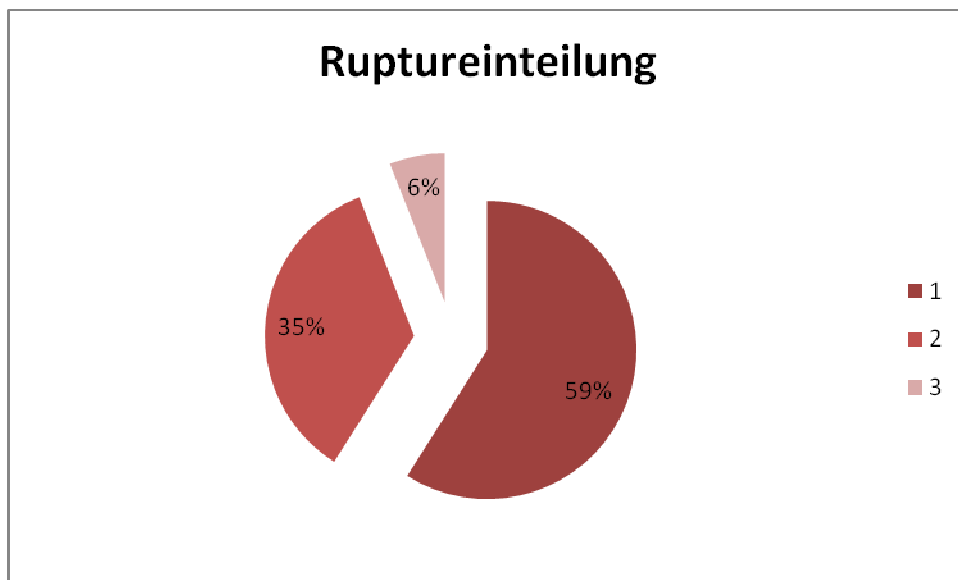


Abbildung 19

Verletzungsmuster im Patientenkollektiv –

1. SSC, SSP und ISP Rupturen, 2. SSC und SSP Rupturen, 3. Isolierte SSC Rupturen

Das Patientenkollektiv bestand aus Patienten mit isolierten und kombinierten Rupturen des M. subscapularis, die sich aufgrund von starken Schmerzen in der Sportorthopädie der TU München von September 2004 bis zum Februar 2005 vorstellten (Abb. 19). Eingeschlossen wurden Patienten mit kranialen Rupturen der Mm. subscapularis, supraspinatus- und infraspinatus. Ausschlusskriterium stellten Voroperationen im Bereich der Rotatorenmanschette dar. Die Patienten mussten in

der Lage sein, die subscapularisspezifischen Tests durchzuführen, sodass auch massive degenerative Veränderungen wie frozen shoulder bei ausgeprägten arthrotischen Veränderungen zum Ausschluss führte.

Von den in Frage kommenden Patienten erklärten sich 17 bereit, an der Studie teilzunehmen. Bei den Patienten handelte es sich um 15 Männer und zwei Frauen im Alter zwischen 48 und 65 Jahren, (mittleres Alter 58,5 Jahre) (Abb. 20). Bei einem Patienten bestand eine traumatisch bedingte isolierte Ruptur des kranialen Anteils des M. subscapularis (6%). Rupturen des M. subscapularis waren in unserem Patientenkollektiv zu 35% mit Rupturen des M. supraspinatus kombiniert. Am häufigsten waren kombinierte Rupturen der Mm. supraspinatus und infraspinatus (59%). Bei 5 Patienten lagen kombinierte Rupturen degenerativer Genese an beiden Schultergelenken vor. Bis auf einen Patienten war immer der dominante Arm betroffen.

Im Vorfeld der Untersuchungen wurden die Patienten auf die grobe Kraft der Rotatorenmanschette hin untersucht und einer Magnetresonanztomographie unterzogen, um Rupturgröße, Verfettungen und Atrophien bestimmen zu können.

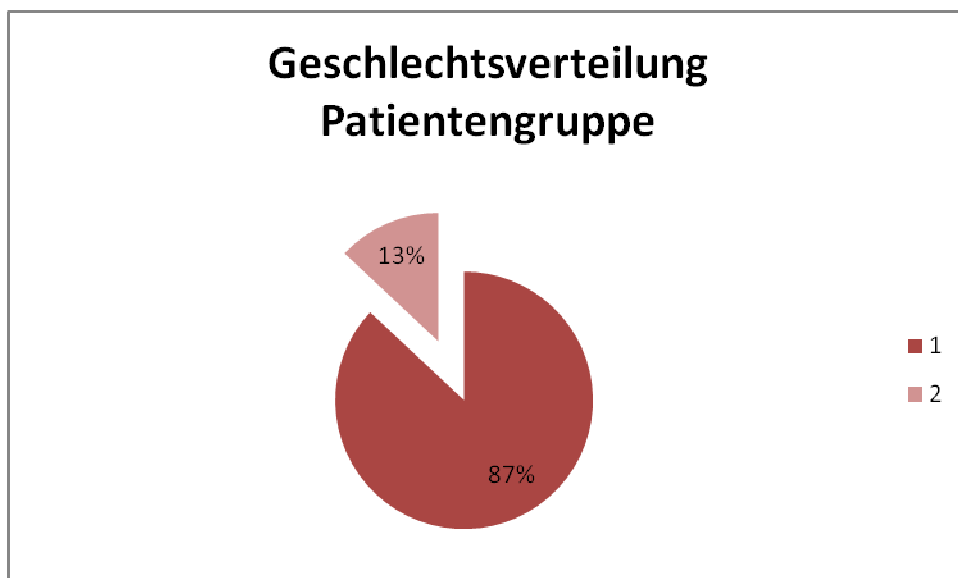


Abbildung 20

1. Männliche Patienten, 2. Weibliche Patienten

Die Probandengruppe bestand aus 1 Frau und 9 Männern zwischen 23 und 28 Jahren (im Mittel 25,4 Jahre). Klinisch bestand bei keinem der Probanden ein Hinweis auf ein Rotatorenmanschettenläsion, in Anbetracht des niedrigen Durchschnittsalters konnten degenerative Schädigungen der Rotatorenmanschette nahezu ausgeschlossen werden (Abb. 21). Die Testung wurde grundsätzlich am dominanten Arm durchgeführt, da dieser im Großteil der Fälle auch in der Patientengruppe die betroffene Seite darstellte.



Abbildung 21

1. Männliche Probanden, 2. Weibliche Probanden

2.2 Elektrophysiologische Untersuchung

2.2.1 Testvorbereitung

Die Testungen wurden in Zusammenarbeit und in den Räumlichkeiten der neurologischen Klinik des Klinikums rechts der Isar durchgeführt. Die Patienten wurden nach einem standardisierten Untersuchungsablauf untersucht. Nach einer ausführlichen Anamneseerhebung und Funktionsprüfung erfolgte eine kernspintomographische Bildgebung. Die klinischen Untersuchungen wurden im Stehen mit vollständig entkleidetem Oberkörper durchgeführt. Die Schultern der Patienten wurden inspiziert, um eine Aussage über die Muskulatur, eventuelle Asymmetrien und Narben zu machen. Die Untersuchungen begannen immer mit der gesunden Schulter, um bessere Rückschlüsse auf Kraft- und Beweglichkeitsdefizite ziehen zu können. Die Beweglichkeit wurde mit der Neutral-Null-Methode für Anteversion/Retroversion, Abduktion/Adduktion und Außenrotation/Innenrotation untersucht.

Zusätzlich wurde das Sternoklavikulargelenk, die Clavicula, das AC-Gelenk, der Proc. coracoideus sowie das Tuberkulum majus und minus palpiert.

Die Patienten wurden über eventuelle Risiken aufgeklärt und erteilten ihre schriftliche Einwilligung.

2.2.2 Untersuchungstechnik

Bewegung	Zuständige Muskeln und Muskelgruppen
Anteversion	Pars clavicularis des M. deltoideus, pars clavicularis des M. pectoralis major, Caput breve des M. biceps brachii, M. Coracobrachialis, M.SSC1 Anteversion des abduzierten Armes.
Retroversion	Pars spinalis des M. deltoideus, M. latissimus dorsi, M. teres major
Abduktion	M. supraspinatus, Pars acromialis des M. deltoideus, Caput longum des M.biceps brachii, über 60° Abduktion auch Pars clavicularis und spinalis des M. deltoideus
Adduktion	M. teres minor, M. pectoralis major, M. coracobrachialis, M. latissimus dorsi, M. teres major, bei Abduktionsstellung unter 60° Pars clavicularis und spinalis des M. deltoideus, Caput longum des M. triceps brachii, M. SSC2 Adduktion in der Skapulaebene
Innenrotation	M. subscapularis, Pars clavicularis des M. deltoideus, M. teres major, M. pectoralis major, M. latissimus dorsi, M. Coracobrachialis
Außenrotation	M. supraspinatus, Pars spinalis des M. deltoideus, M. infraspinatus, M. teres minor

Tabelle 6

Bewegungsabläufe und beteiligte Muskulatur.

Die intramuskulären und oberflächlichen Elektroden wurden wie von Basmajian und De Luca beschrieben im Faserverlauf mit einem maximalen Abstand von 25mm platziert [2]. Danach hatten die Patienten die Möglichkeit, sich durch Lockerungsübungen an die intramuskulär verbliebenen Elektroden zu gewöhnen und die Muskulatur zu lockern.

Dazu wurden die in der Literatur beschriebenen Tests „Lift off“, „IRLS“, „Belly press Test“ und das von uns neu angewandte „Belly off Zeichen“ verwendet und auf ihre Aussagekraft überprüft. Es wurde auf die Festlegung von Maximalwerten verzichtet,

um mit den gemessenen Absolutwerten in μV eine bessere Vergleichbarkeit zwischen der Probanden- und Patientengruppe zu schaffen.

Die Versuchsreihen wurden immer in der gleichen Reihenfolge durchgeführt, beginnend mit dem „Lift off Test“, danach wurde das „IRLS“, dann der „Belly press Test“ und zuletzt das „Belly off Zeichen“ durchgeführt. Zwischen den einzelnen Tests konnten sich die Patienten kurz entspannen und die Muskulatur lockern. Die Testungen wurden in sitzender Position und mit entkleidetem Oberkörper durchgeführt um mögliche Fehlhaltungen so gering wie möglich zu halten.

Die Muskeln der Rotatorenmanschette *Mm. subscapularis*, *supraspinatus*, *infraspinatus* und *teres minor* wurden mit intramuskulären single hook Elektroden (VIASYS Healthcare, Hoechberg, Germany) abgeleitet (Abb. 22). Diese Drahtelektroden werden mittels eines kleinen Widerhakens in der Muskulatur verankert (Durchmesser 30-70 μm). Die flexiblen Drähte bestehen aus leitfähigem Material, das, außer an der Elektrodenspitze, von einer Isolierschicht umgeben ist. Es wird die Potentialdifferenz zwischen den zwei eingebrachten Drahtelektroden gemessen [2].

Die drei Anteile des *M. deltoideus* sowie die *Mm. teres major*, *latissimus dorsi* und *pectoralis* wurden mit oberflächlichen Klebeelektroden untersucht, die zentral auf den Muskelbauch gesetzt wurden. Die Referenzelektroden wurden bei intramuskulären und oberflächlichen Elektroden in einer Entfernung von 2 cm im Faserverlauf platziert. Bei dieser Methode können nur Summenpotenziale vieler gleichzeitig aktiver motorischen Einheiten abgeleitet werden [2,46].

Bevor die Elektroden gelegt wurden, wurden die Patienten gebeten, ihren Oberkörper frei zu machen, um die Klebe- und Einstichstellen zugänglich zu machen. Die Stellen wurden mehrmals gereinigt und desinfiziert.

2.2.3 Elektromyographie

Die Aufgabe der Elektromyographie ist die Erfassung der muskulären Aktivität durch die Messung der Amplitude und der Frequenz der Muskelaktivitätspotentiale. Mit der Innervation der Muskulatur ist elektrische Aktivität verbunden, die noch an der Hautoberfläche gemessen werden kann. Bringt man entweder Klebe- oder Nadelelektroden an, die durch die Haut in die Muskulatur gestochen werden, kann man die elektrischen Potentiale messen, die bei einer Kontraktion zwischen den Elektroden auftreten. Es werden zwei Elektroden benötigt, zwischen denen die Potentialdifferenz abgeleitet werden kann. Die Hauptelektrode wird auf oder in den Hauptmuskelbauch platziert, dort wo die meisten Muskelfibrillen zu finden sind, die Referenzelektrode wird in einem Abstand von 2 cm dem Faserverlauf folgend angebracht. Eine sorgfältige Vorbereitung und Desinfektion der zu messenden Hautstellen sind notwendig, um die Impedanz zwischen Elektrode und Muskel gering zu halten. Aus diesem Grund ist es notwendig Fettrückstände und Hautschuppen zu entfernen. Damit jeder Muskelanspannung eine Aktivierung der elektrischen Aktivität verbunden ist, kann man auf diese Weise ein Signal direkt vom Muskel ableiten [23]. Bei den Oberflächenelektroden hat man die Möglichkeit, eine genauere Aussage über die Aktivität des gesamten Muskels zu treffen, da eine größere Anzahl von motorischen Einheiten berücksichtigt werden kann [46,74]. Bei den intramuskulären Elektroden wird nur eine geringere Anzahl von motorischen Einheiten abgeleitet, nämlich die, die an der Elektrodenspitze liegen. Der Einsatz von Oberflächenelektroden für tiefer liegende Muskeln kommt jedoch grundsätzlich nicht in Frage, da eine Überlagerung durch die Aktivität der benachbarten Muskeln sich im EMG nicht von der Eigenaktivität subtrahieren lässt und so eine Verfälschung der eigentlichen Werte zustande käme.

Der korrekte Sitz der Elektroden ist von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der Experimente. Das Auffinden der Einstichstellen war aufgrund der gut abgrenzbaren Topographie einfach, bezüglich des M. supraspinatus in der Fossa supraspinata, des M. infraspinatus in der Fossa infraspinata. Die Implantation der Elektroden in den M. subscapularis erforderte eine genaue Orientierung an der Scapula, wobei die Schulter retrovertiert und Innenrotiert wurde, um eine sichere Implantation unterhalb der Scapula sicherzustellen. Der M. subscapularis wurde im kranialen sowie kaudalen Bereich der Fossa subscapularis mit Nadelelektroden

versorgt. Des Weiteren wurde der M. teres minor aufgesucht und gestochen. Beim Legen der Oberflächenelektroden konnte man sich an den oberflächlichen Strukturen der Muskulatur orientieren. Um die korrekte Lage zu überprüfen, wurden für den jeweiligen Muskel spezifische Übungen durchgeführt und die Reaktion auf dem Monitor abgelesen.

Eine Positionsänderung der implantierten Elektroden ist nicht möglich. Im Falle einer falschen Platzierung mussten sie entfernt und ein neues Paar eingebracht werden [22]. Nach der korrekten Positionierung der Elektroden wurde die Schulter des Patienten passiv durchbewegt. Anschließend konnten sich die Patienten und Probanden durch aktive Bewegung an die intramuskulär liegenden Drähte gewöhnen. Bei schmerzhafter Lage der Elektroden mussten diese entfernt und neu gesetzt werden, um eventuelle Muskelverspannungen zu vermeiden.

Um die große Anzahl von Muskeln ableiten zu können, verwendeten wir ein EEG-Gerät IT-Med Neurofile NT (Usingen, Deutschland), das im Vergleich zum klassischen EMG-Gerät die Untersuchung und Speicherung einer deutlich größeren Anzahl von Kanälen gestattet. Die Elektroden wurden dann, wie von Basmajian und De Luca beschrieben, am Patienten plaziert [2,52,55] (Abb. 22).

Die Muskel- und Referenzelektroden wurden wie in Tabelle 7 ersichtlich angeschlossen. Die elektrischen Signale wurden auf einem Computerbildschirm sichtbar gemacht und gespeichert. Ausgewertet wurden die Daten mit einem speziellen Programm Spike 2 und Spike 24 (Version 5.0 der Firma Cambridge Electronic Design), mit dessen Hilfe Störsignale eliminiert und die Summenpotentiale in einem definierten Bereich zwischen einer und 5 sec gespeichert und ausgewertet werden konnten.

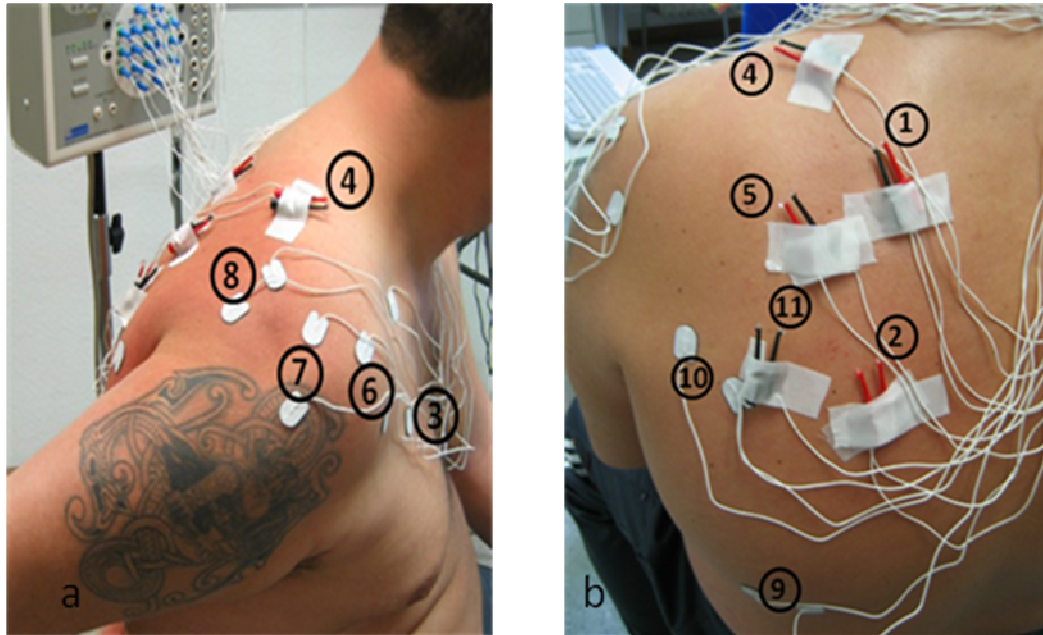


Abbildung 22

Lage der intramuskulären und oberflächlichen Elektroden: Von ventral (a); und dorsal (b)

Kanal	Muskelelektrode	Referenzelektrode	Muskel
1	Fp1	Fp2	SSC 1
2	F7	Fz	SSC2
3	F8	T3	PECT
4	C3	Cz	SSP
5	C4	T4	ISP
6	T5	P3	Delt. ant.
7	P4	Pz	Delt. med.
8	T6	O1	Delta. post.
9	O2	F9	Lat. Dorsi
10	X4	X5	TMA
11	X1	X2	TM

Tabelle 7

Verteilung der EEG Kanäle zu der jeweiligen Muskulatur

2.3 Verarbeitung der Rohdaten

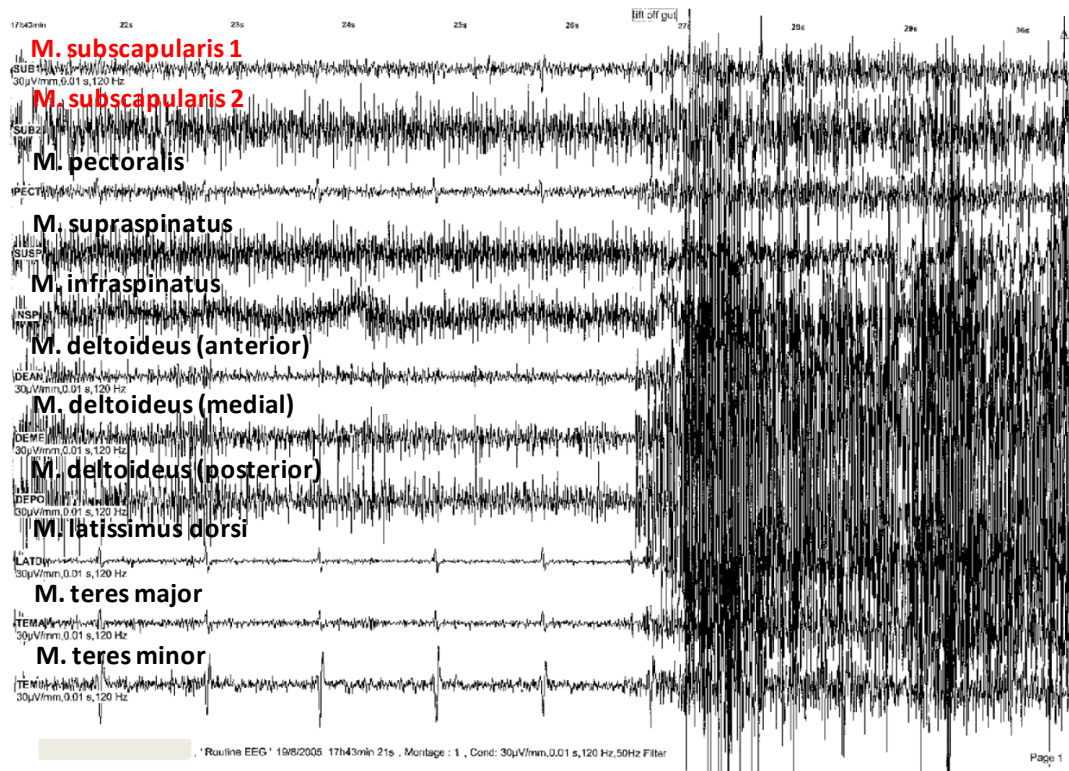


Abbildung 23 Elektromyographische Messung des Lift off Tests

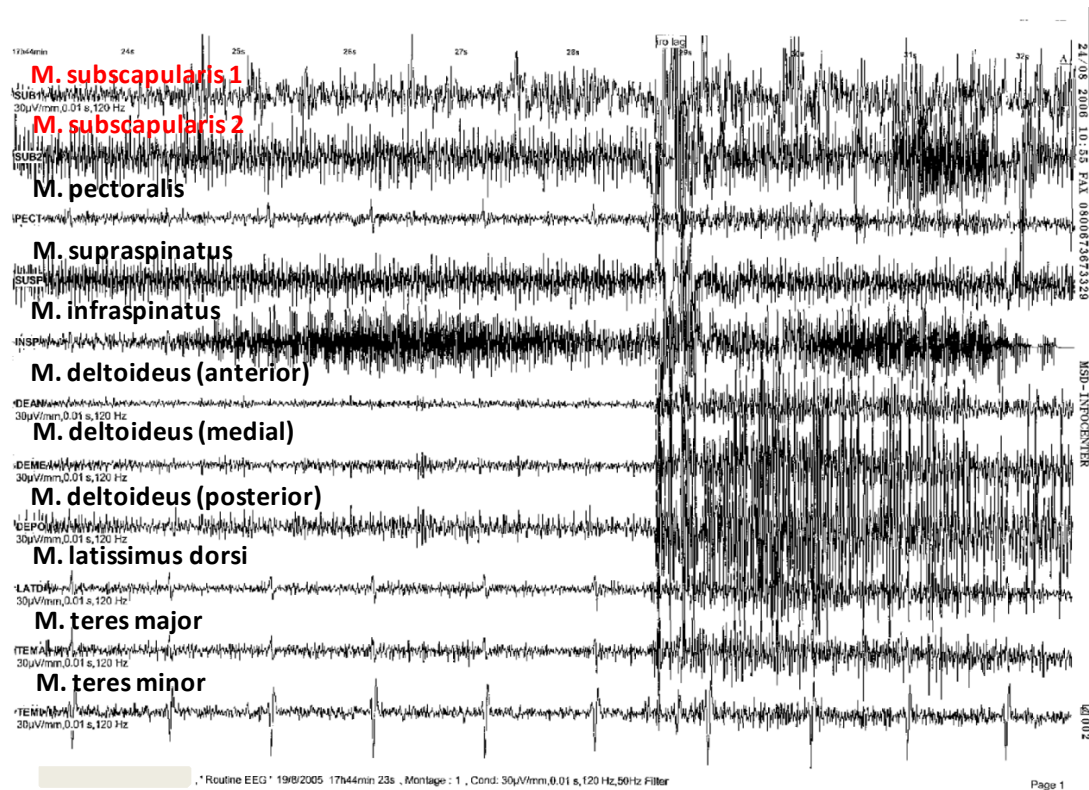


Abbildung 24 Elektromyographische Messung des IRLS Zeichens

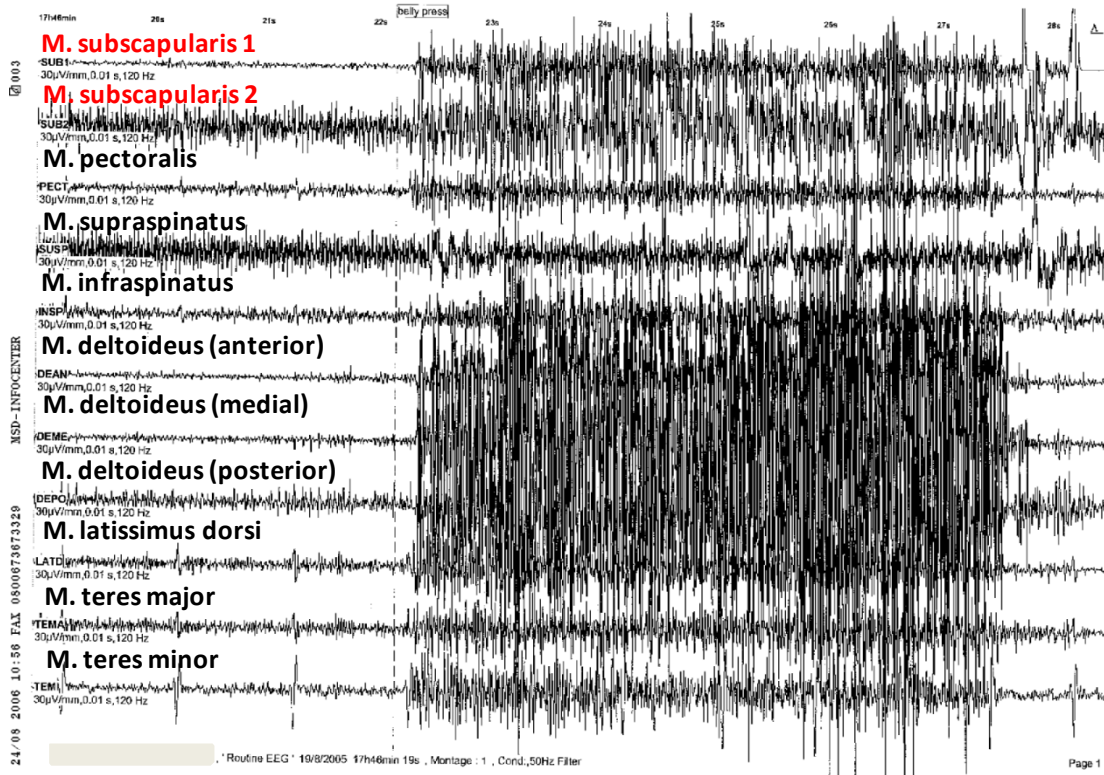


Abbildung 25 Elektromyographische Messung des Belly press Tests

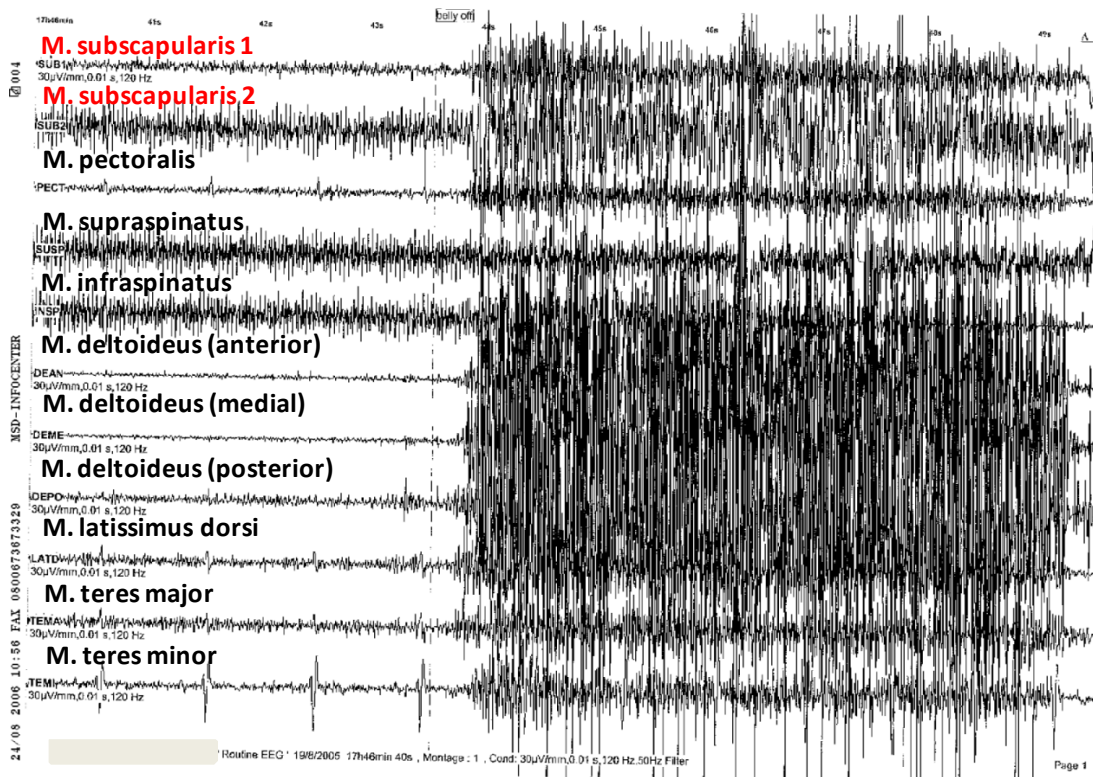


Abbildung 26 Elektromyographische Messung des Belly off Zeichens

Bei den Abbildungen 23 bis 26 handelt es sich um die aufgezeichneten Summenpotenziale der vier für den M. subscapularis spezifischen Tests „Lift off“, „IRLS“, „Belly press“ und „Belly off“. Die Ausschläge markieren die Muskelaktivität und somit den Beginn der Messung. Es wurden insgesamt 11 Schultermuskeln abgeleitet. Nach dem Aufzeichnen und Speichern der gewonnenen Daten folgte die Bearbeitung der Daten am Computer.

Zuerst mussten die gewonnenen Daten mit dem elektronischen 50Hz-Filter des Programms Spike 2 (Version 5.0 der Firma Cambridge Electronic Design) bearbeitet werden, um Störsignale herauszufiltern. Anschließend wurden die so gewonnenen Daten konvertiert, um sie in die Programme Spike 2 und Spike 24 (Firma Cambridge Electronic Design) einspielen zu können, um so die entsprechenden zu messenden Regionen markieren und umwandeln zu können. Dieses Programm dient der Gewinnung von Daten bei Potentialen elektromyographischer Registrierung [77].

Bei passiv durchgeführten Tests, wie dem „IRLS“ und dem „Belly off Test“, bei denen es um eine plötzlich einsetzende Haltearbeit ankommt, wurde die maximale Muskelaktivität für die Dauer einer Sekunde ermittelt, bei aktiven Tests, wie dem „Belly press“ und „Lift off Test“, bei denen es auf eine kontinuierliche Kraft bei der Durchführung des Versuches ankommt, wurde die Muskelaktivität über einen Zeitraum von 5 sec gemittelt.

Die Muskelaktivität wurde als Absolutwert in μV gemessen, zur Auswertung wird der Median der Daten der jeweiligen Muskelaktivität der Patienten bzw. Probanden verwendet.

Anschließend wurden die Ergebnisse in Grafiken zusammengefasst und miteinander verglichen (Abb. 27, Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30). Hierbei wurde ein besonderes Augenmerk auf den Unterschied zwischen aktiven und passiv sowie den Unterschieden von Testungen vor bzw. hinter dem Körper gelegt.

3 ERGEBNISSE

3.1 Klinische Beurteilung der Tests

Im Rahmen der Untersuchung wurde sowohl mit den Patienten als auch mit den gesunden Probanden die etablierten klinischen Tests „Lift off Test“, „IRLS“ und „Belly press Test“ sowie das zu prüfende „Belly off Zeichen“ durchgeführt.

Hier zeigte sich eine erschwerte Durchführbarkeit der Tests hinter dem Rumpf durch die Patientengruppe, bei starker Innenrotation wurden Schmerzen angegeben.

Insgesamt konnte jedoch jeder Test bei jedem Patienten und Probanden angewandt und ausgewertet werden.

Klinisch waren sämtliche Tests einschließlich des zu prüfenden „Belly off Zeichens“ in der Patientengruppe pathologisch, unabhängig vom jeweils vorliegenden Schädigungsmuster der Rotatorenmanschette.

3.2 Elektrophysiologische Daten

3.2.1 Vergleich zwischen Patienten- und Probandengruppe

3.2.1.1 Lift off Test

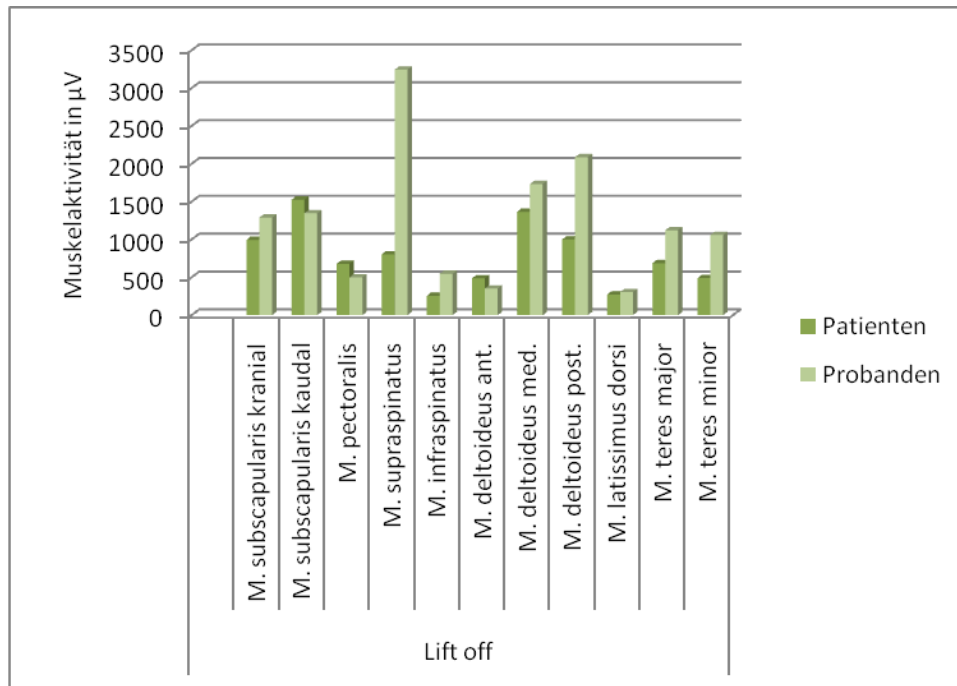


Abbildung 27

Vergleich „Lift off“ Patient vs. „Lift off“ Proband

Während der Durchführung des „Lift off Tests“ zeigte sich in der Probandengruppe eine fast ausgeglichene Aktivität des kranialen und kaudalen Anteils des M. subscapularis mit Überwiegen des kaudalen Anteils.

Die insgesamt höchste Muskelaktivität zeigte der M. supraspinatus gefolgt vom M. deltoideus medialis und posterior.

In der Patientengruppe wurde der kaudale Anteil des M. subscapularis stärker aktiviert als der kraniale.

Weiter fielen relativ zu der restlichen Muskulatur innerhalb der Patientengruppe hohe Werte des M. deltoideus medialis und posterior auf, wobei der kaudale Anteil des M. subscapularis die höchste Aktivität aufweist.

Im Falle des M. subscapularis zeigte sich in der Probandengruppe ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis mit Betonung des kaudalen Anteils, während die Patientengruppe eine deutlich höhere Aktivität des kaudalen M. subscapularis zeigte. Bei fast allen Muskeln sowohl der Rotatorenmanschette - mit besonderer Betonung des M. supraspinatus - als auch der Hilfsmuskulatur fanden sich in der Probandengruppe deutlich höhere Aktivitätswerte als in der Patientengruppe.

Einzig die M. pectoralis major und M. deltoideus anterior wurden in der Patientengruppe stärker aktiviert als in der Probandengruppe.

Weiterhin zeigte sich in beiden Gruppen eine im Verhältnis deutliche Aktivitätssteigerung der mittleren und hinteren Deltamuskulatur. Hingegen zeigte der M. latissimus dorsi in beiden Gruppen keine nennenswerte Aktivität.

Der „Lift off Test“ ist der wohl populärster Test, um eine Schädigung des M. subscapularis nachzuweisen. Die Aussagekraft dieses Tests wurde in mehreren Untersuchungen aufgezeigt [28,73,75].

3.2.1.2 IRLS

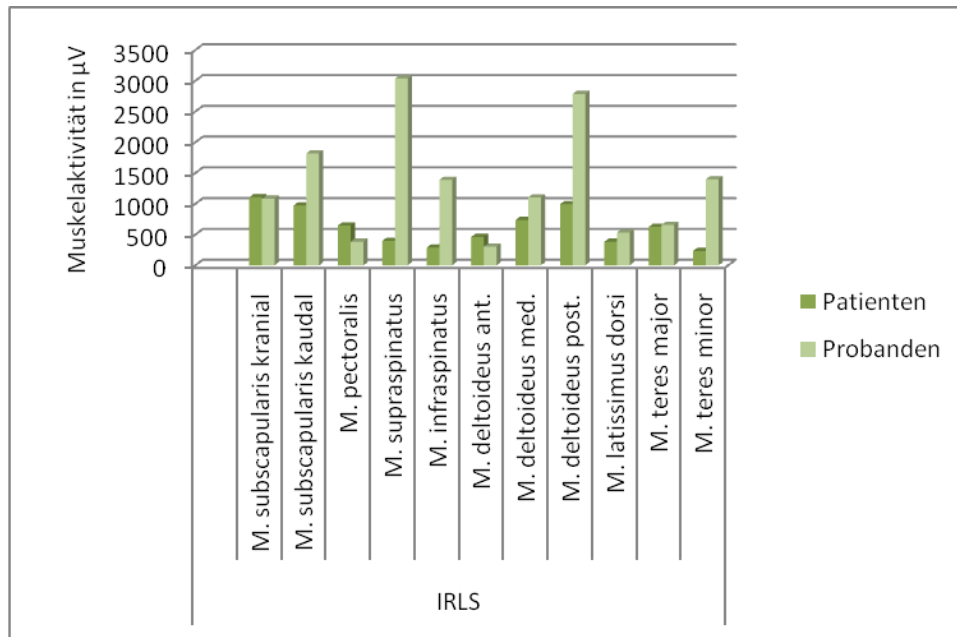


Abbildung 28

Vergleich „IRLS“ Patient vs. „IRLS“ Proband

Bei der Durchführung des „IRLS“ bestand eine Diskrepanz zugunsten des kaudalen Anteils des M. subscapularis.

Die höchste Muskelaktivität zeigte sich im M. supraspinatus gefolgt von den Mm. deltoideus posterior, subscapularis kaudal, infraspinatus und teres minor.

In der Patientengruppe wurde bei Annäherung der Muskelaktivität der kraniale Anteil des M. subscapularis etwas stärker aktiviert.

Hohe Werte wurden bei den Mm. pectoralis major sowie deltoideus medius und posterior gemessen.

Der M. subscapularis zeigt in der Probandengruppe ein Überwiegen des kaudalen Anteils, bei nahezu gleichen Werten ist in der Patientengruppe hingegen der kraniale Anteil betont.

Beim IRLS werden abgesehen vom kranialen Anteil des M. subscapularis sämtliche Muskeln der Rotatorenmanschette von den Probanden deutlich stärker aktiviert als in der Patientengruppe.

Bezüglich der Hilfsmuskulatur fällt in der Probandengruppe das Aktivitätsmaximum des M. deltoideus posterior auf, ansonsten zeigen sich keine relevanten Unterschiede

zwischen den beiden Gruppen. Einzig die Mm. pectoralis major und deltoideus anterior zeigten in der Patientengruppe eine höhere Aktivität als in der Probandengruppe. Der M. latissimus dorsi als weiterer Innenrotator scheint in beiden Gruppen keine entscheidene Rolle zu spielen.

Die Werte in der Probandengruppe verhielten sich wie auch in der Literatur beschrieben [75], die Aktivität des kaudalen Anteils des M. subscapularis überwog im Vergleich zum kranialen Anteil des M. subscapularis.

3.2.1.3 Belly press Test

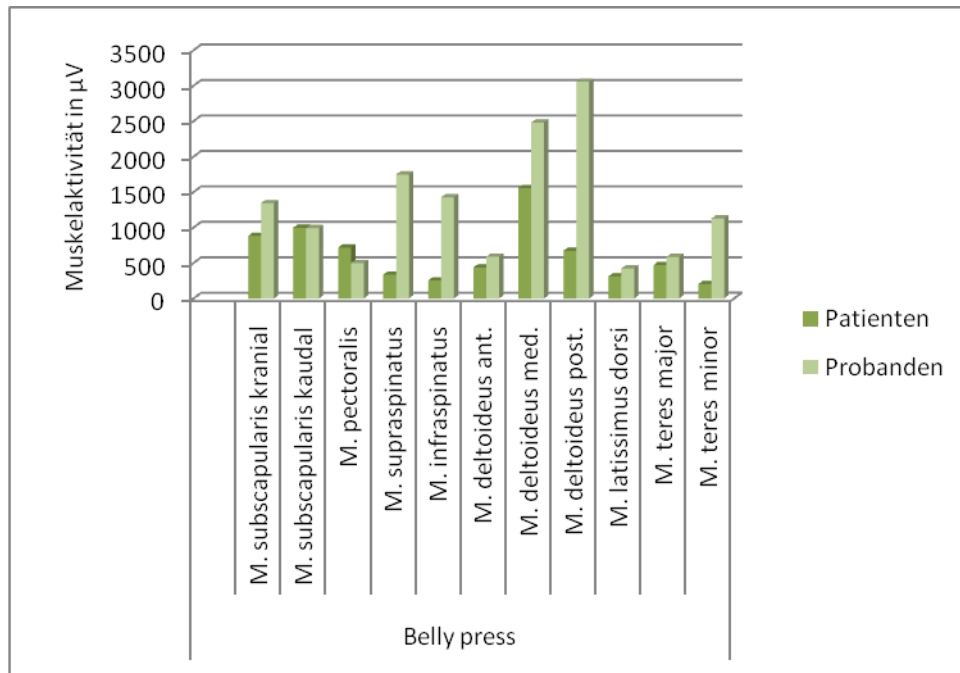


Abbildung 29

Vergleich "Belly press" Patient vs. "Belly press" Proband

Bei der Durchführung des „Belly press“-Test war in der Probandengruppe eine höhere Aktivität des kranialen Anteils des M. subscapularis zu verzeichnen.

Die höchste Muskelaktivität wurde in den Mm. deltoideus posterior und medius gemessen, gefolgt von den Mm. supraspinatus, infraspinatus, subscapularis kranial und teres minor.

Bei Annäherung der Werte zeigt sich in der Patientengruppe ein Überwiegen des kaudalen Anteils des M. subscapularis.

Die stärkste Aktivität wurde hier beim M. deltoideus medialis gemessen.

Der M. subscapularis zeigte in der Probandengruppe ein deutliches Überwiegen des kranialen Anteils, während es in der Patientengruppe zu einer Annäherung mit diskreter Betonung des kaudalen Anteils kam.

Sämtliche Muskeln der Rotatorenmanschette - abgesehen vom kaudalen Anteil des M. subscapularis - zeigten in der Probandengruppe eine höhere Aktivität als im Patientenkollektiv.

Bezüglich der weiteren Hilfsmuskulatur kam es bei den Probanden zu einer absoluten Steigerung der Aktivität der Mm. deltoideus medialis und posterior, bei den Patienten zeigte sich ein relatives Maximum des M. deltoideus medialis.

Lediglich der M. pectoralis wurde von den Patienten stärker als von den Probanden aktiviert.

Der „Belly press Test“ wird wie in der Literatur beschrieben angewendet, wenn es den Patienten nicht möglich ist, die Schulter zu extendieren und somit den „Lift off Test“ oder das „IRLS“ durchzuführen [21,68].

3.2.1.4 Belly off Zeichen

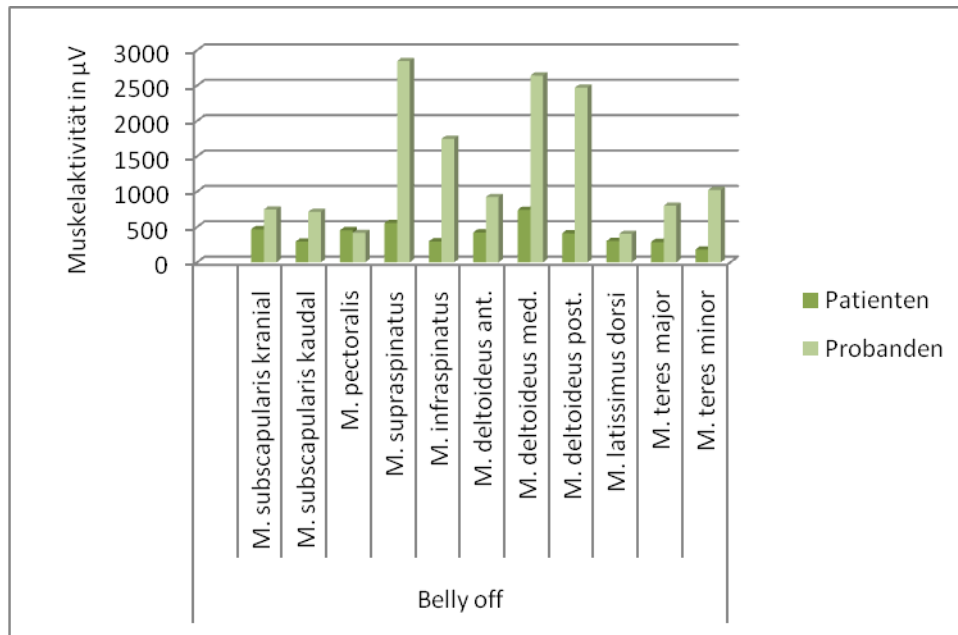


Abbildung 30

Vergleich "Belly off" Patient vs. "Belly off" Proband

Bei der Durchführung des „Belly off-Zeichens“ zeigte sich in der Probandengruppe lediglich ein diskretes Überwiegen der Aktivität des kranialen M. subscapularis.

Das Maximum der Muskelaktivität zeigte sich im M. supraspinatus, gefolgt von den Mm. deltoideus medialis und posterior sowie M. infraspinatus.

In der Patientengruppe überwog die Aktivität des kranialen Anteils des M. subscapularis.

Bei insgesamt geringer Muskelaktivität aller abgeleiteten Muskelgruppen zeigte der M. deltoideus medialis die stärkste Aktivierung.

Im Falle des M. subscapularis zeigte sich in der Probandengruppe ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis mit Betonung des kranialen Anteils, während die Patientengruppe eine deutlich höhere Aktivität des kranialen M. subscapularis bei allerdings niedrigerer Gesamtaktivität zeigte.

Im Vergleich fällt eine deutliche Diskrepanz der Aktivierungsmuster zu Ungunsten der Patientengruppe bezüglich aller Muskeln der Rotatorenmanschette auf.

Die Hilfsmuskulatur zeigt eine Aktivierung des Mm. deltoideus medialis und posterior bei den Probanden, lediglich der M. pectoralis wurde durch die Patienten stärker aktiviert.

3.2.2 Vergleich von Tests vor und hinter dem Körper

3.2.2.1 aktive Tests

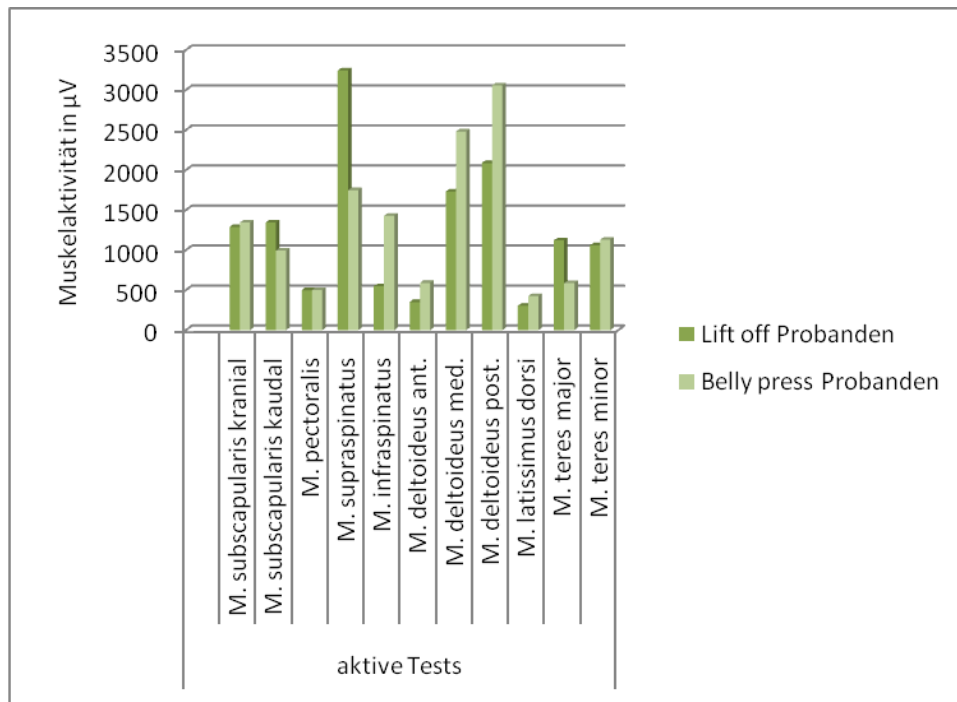


Abbildung 31

Aktive Tests bei Probanden „Lift off“ vs. „Belly press“

Der M. subscapularis zeigt in der Probandengruppe beim „Lift off-Test“ hinter dem Körper eine vermehrte Aktivierung des kaudalen Anteils des M. subscapularis, beim „Belly press-Test“ vor dem Körper eine stärkere Aktivität des kranialen Anteils.

Der M. supraspinatus wird bei beiden Tests, mehr jedoch beim „Lift off-Test“ hinter dem Körper aktiviert, der M. infraspinatus erfährt beim „Belly press-Test“ vor dem Körper eine gesteigerte Aktivierung.

Die medialen und posterioren Anteile des M. deltoideus werden bei beiden Testarten verstärkt aktiviert, insbesondere jedoch beim „Belly press-Test“ vor dem Körper.

Der M. teres major in der Sonderstellung eines zusätzlichen Innenrotators wird beim „Lift off-Test“ hinter dem Körper rekrutiert.

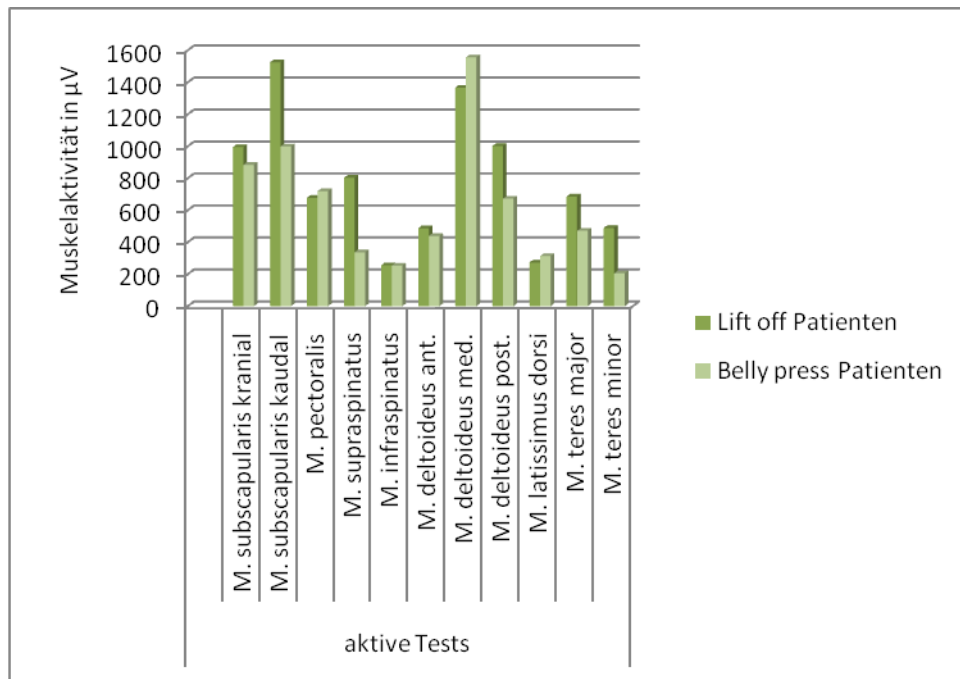


Abbildung 32

Aktive Tests bei Patienten „Lift off“ vs. „Belly press“

Bei insgesamt niedrigeren Messwerten zeigte sich in der Patientengruppe bei beiden Tests eine stärkere Aktivierung des kaudalen Anteils des M. subscapularis, beim „Lift off Test“ hinter dem Körper war der Unterschied jedoch deutlich stärker ausgeprägt.

Die restlichen Muskelgruppen der Rotatorenmanschette zeigten geringere Aktivitäten als der M. subscapularis, die Mm. supraspinatus und teres minor wurden bei der Durchführung des „Lift off Test“ hinter dem Körper jedoch stärker aktiviert.

Die Mm. pectoralis und deltoideus anterior werden bei beiden Tests aktiviert, ebenso der M. deltoideus medialis, dieser mehr beim „Belly press Test“ vor dem Körper, und der M. deltoideus posterior, dieser mehr beim „Lift off Test“ hinter dem Körper.

Der M. teres major wird hauptsächlich beim „Lift off Test“ hinter dem Körper rekrutiert.

Im Vergleich der beiden Gruppen zeigte sich die stärkere Aktivierung des kaudalen Anteils des M. subscapularis bei der Durchführung des „Lift off Test“ hinter dem Körper in der Patientengruppe als deutlicher ausgeprägt, bei der Durchführung des „Belly press Test“ vor dem Körper war in der Probandengruppe der kraniale Anteil aktiver, in der Patientengruppe der kaudale.

3.2.2.2 passive Tests

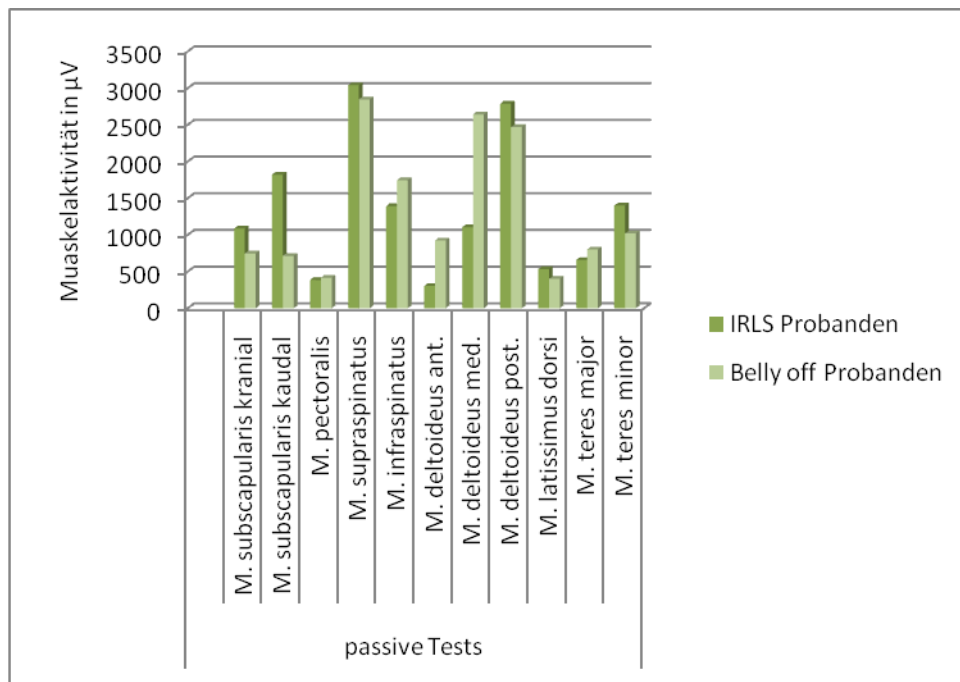


Abbildung 33

Passive Tests bei Probanden „IRLS“ vs. „Belly off“

In der Probandengruppe zeigt sich bei der Durchführung des „IRLS“ hinter dem Körper eine vermehrte Aktivität des kaudalen Anteils des M. subscapularis, das „Belly off Zeichen“ vor dem Körper führt zu einer diskret gesteigerten Aktivierung des kranialen Anteils.

Die Mm supraspinatus, infraspinatus und teres minor werden bei beiden Tests aktiviert, beim „IRLS“ hinter dem Körper jedoch die Mm. supraspinatus und teres minor verstärkt, beim „Belly off Zeichen“ vor dem Körper vermehrt der M. infraspinatus.

Das „Belly off Zeichen“ vor dem Körper lässt alle Anteile des M. deltoideus verstärkt anspringen, beim „IRLS“ hinter dem Körper wird der M. deltoideus weniger stark aktiviert, der posteriore Anteil hingegen am stärksten.

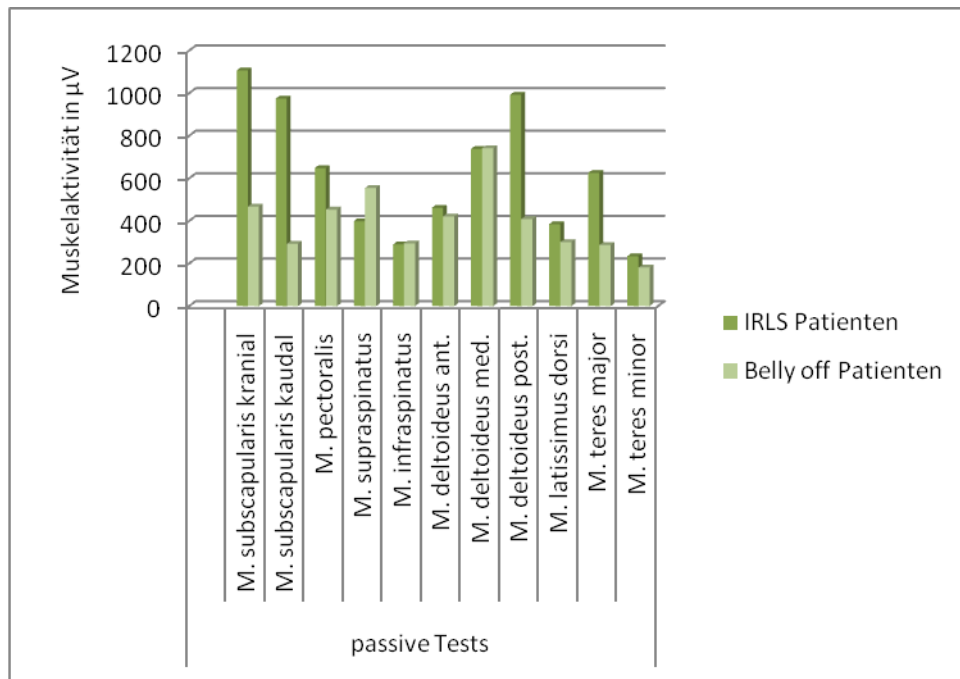


Abbildung 34

Passive Tests bei Patienten „IRLS“ vs. „Belly off“

In der Patientengruppe werden bei beiden passiven Tests die kranialen Anteile des M. subscapularis stärker aktiviert, im Vergleich mit stärkerer Aktivität beider Anteile bei Durchführung des „IRLS“ hinter dem Körper.

Es zeigt sich eine leichte Aktivierung des M. supraspinatus beim „Belly off Zeichen“ vor dem Körper.

Das „IRLS“ hinter dem Körper lässt alle Anteile des M. deltoideus verstärkt anspringen, am meisten den M. deltoideus posterior, hingegen werden beim „Belly off Zeichen“ vor dem Körper die anterioren und medialen Anteile ähnlich stark, der posteriore Anteil jedoch nicht aktiviert. Der M. pectoralis major wird bei beiden Tests, insbesondere beim „IRLS“ hinter dem Körper aktiviert.

Auch der M. teres major als weiterer Innenrotator wird beim „IRLS“ hinter dem Körper stärker rekrutiert.

3.2.3 Muskelaktivitäten Patienten und Probanden

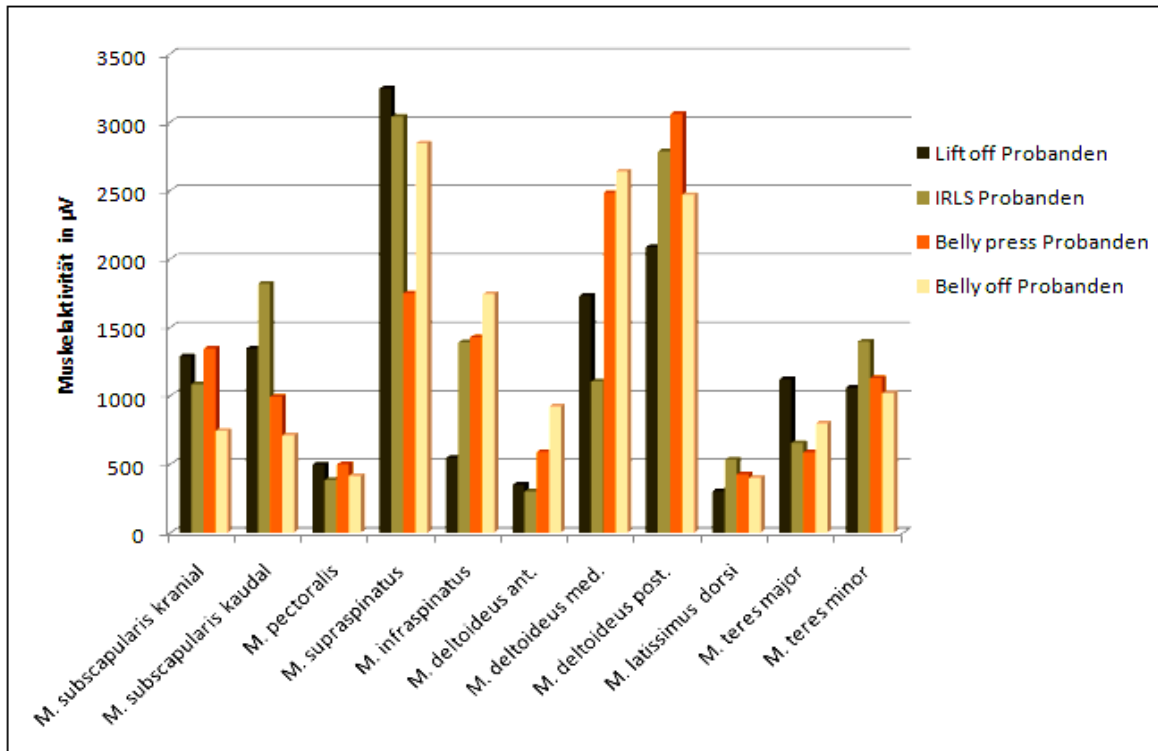


Abbildung 35

Alle Probandentests

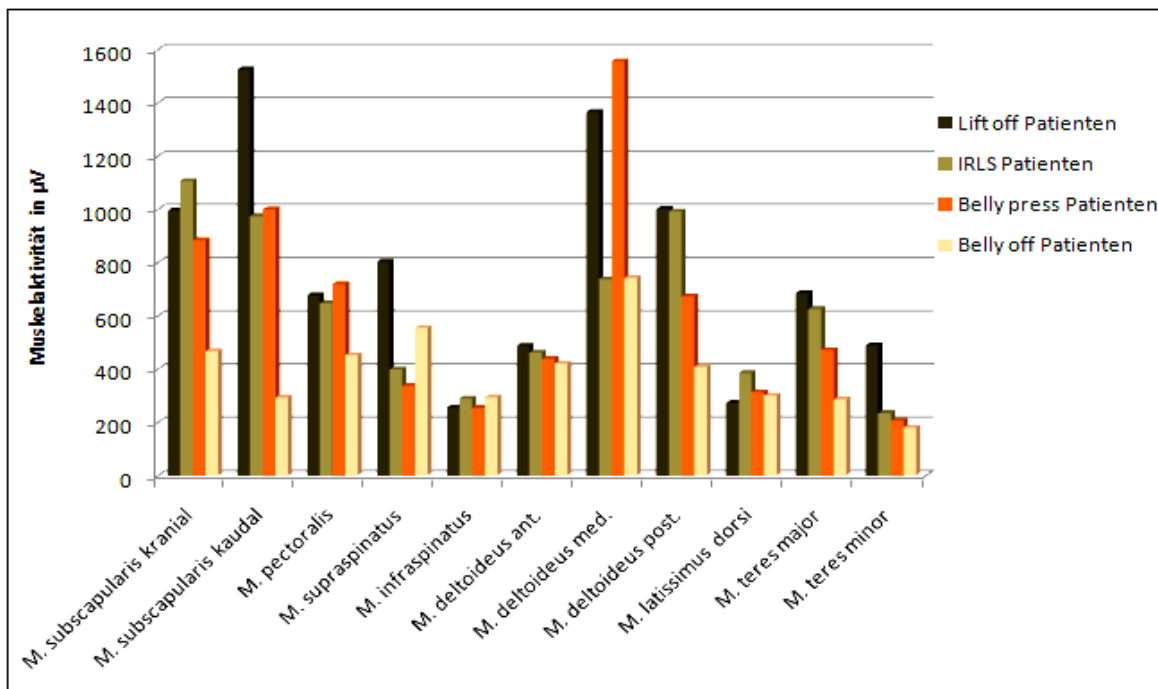


Abbildung 36

Alle Patiententests

Zur Evaluation der Aktivität der Innenrotatoren werden nun sämtliche Tests vergleichend gegenübergestellt: Hier zeigt sich eine auffällige Minderaktivität der Innenrotatoren – Mm. pectoralis, teres major, deltoideus anterior – in der Patientengruppe bei der Durchführung des „Belly off Zeichens“ im Vergleich zu sämtlichen anderen klinischen Tests.

4 DISKUSSION

In dieser Studie wurden die herkömmlichen M. subscapularis spezifischen Standardtests mit einem neuen klinischen Zeichen, dem sogenannten „Belly off Zeichen“ verglichen und elektromyographisch untersucht.

Isolierte Rupturen des M. subscapularis sind relativ selten und schwierig zu differenzieren. In dieser vergleichenden Studie zeigte sich, dass alle vier Tests „Lift off Test“, „IRLS“, „Belly press Test“ und „Belly off Zeichen“ gute Methoden sind, um den unteren und oberen Anteil des M. subscapularis klinisch zu testen. Die Testungen hinter dem Körper, also „Lift off Test“ und „IRLS“, die mit einer stärkeren Innenrotation in der Ausgangsposition verbunden sind, wurden von den Patienten als schmerzhafter und schlechter durchführbar erlebt, obwohl es den Patienten in unserer Studie grundsätzlich möglich war, sich diesen Tests zu unterziehen. Als angenehmer wurde der „Belly press Test“ empfunden, welcher als alternativer Test zum „Lift off Test“ beschrieben wird, wenn es den Patienten nicht möglich ist die geforderte Position zur Durchführung des „Lift off Tests“ einzunehmen [21], jedoch wurde auch hier bei den Versuch der aktiven Innenrotation, wenn auch seltener, eine Schmerzhaftigkeit angegeben. Die beste Durchführbarkeit war in unserer Testreihe mit dem „Belly off Zeichen“ verbunden.

Einschränkend muss erwähnt werden, dass auch beim „Belly off Zeichen“ eine fortgeschrittene Insuffizienz der Aussenrotatoren zu falsch negativen Testergebnissen führt [70], da eine Insuffizienz der Innenrotatoren und damit eine Einschränkung des M. subscapularis nur bei erhaltener Funktion der Aussenrotatoren bei den untersuchten klinischen Tests festgestellt werden kann.

Es zeigte sich wie bei vorhergegangenen Untersuchungen, dass bei gesunden Probanden die Tests vor dem Körper nämlich „Belly press Test“ und das „Belly off Zeichen“ stärker den oberen Anteil und die Tests hinter dem Körper wie „Lift off Test“ und „IRLS“ den unteren Anteil des M. subscapularis aktivieren und somit prüfen [8,11,36,75].

Im Gegensatz hierzu lässt sich eine solche Zuordnung in dem von uns untersuchten Patientenkollektiv nicht treffen, es gilt ebensowenig eine klare Zuteilung der Prüfung

des kranialen Anteil des M. subscapularis bei Tests vor dem Körper bzw. des kaudalen Anteils bei Tests hinter dem Körper [8,11,36,75] noch lässt sich, wie zu erwarten wäre, bei allen Tests eine verminderte Aktivität des geschädigten kranialen Anteils feststellen. Im Detail zeigt sich beim „Lift off Test“ eine verstärkte Aktivierung des kaudalen Anteils, im Gegensatz hierzu im „IRLS“ ein Überwiegen des kranialen Anteils. Der „Belly press Test“ zeigte eine Betonung kaudal, das „Belly off Zeichen“ hingegen kranial. Möglicherweise besteht hier ein Zusammenhang weniger mit der Position des Armes bei der Durchführung des entsprechenden Tests als vielmehr mit der Art der Testdurchführung im Sinne von Tests, bei denen eine aktive Innenrotation verlangt wird im Gegensatz zu denen mit einem Halten der Position und der hiermit verbundenen Art der elektrophysiologischen Messung. Denkbar ist eine stärkere Aktivierung des geschädigten Muskels bei einer passiven Testung, die zum einen per se weniger schmerzhaft ist, zum anderen die hier erfolgte kürzere Messung, die auch ein kurzes Ansteigen der elektrischen Aktivität erfasst. Grundsätzlich ist auch von einer verminderten willkürlichen Aktivität der Muskulatur bei den aktiven Tests auszugehen, da der Patient ein Schmerzereignis antizipiert, wenn eine aktive Muskelkontraktur verlangt wird, im Gegensatz hierzu wird bei den passiven Tests lediglich eine Haltearbeit ohne maximale Muskelkontraktur gefordert, die auch mit einem gewissen Überraschungsmoment durch das plötzliche Loslassen von Seiten des Untersuchers verbunden ist. Es zeigt sich, dass bei den aktiven Tests eine Zunahme der Aktivität des kaudalen Anteils des M. subscapularis zu registrieren ist, was als Versuch der Funktionsübernahme des ungeschädigten Muskelanteils gedeutet werden kann.

Zusätzlich ist der Einfluss der Abduktion auf die Aktivierung der beiden Anteile des M. subscapularis nicht abschließend geklärt, die Arbeiten von Kadaba et al. [48] und Giovine et al. [16] machen widersprüchliche Angaben: In ersterer wurde eine zunehmende Aktivierung des unteren Anteils bei Abduktion gesehen, in letzterer eine Betonung des oberen Anteils in 90° Abduktion. Da das „Belly off Zeichen“ in der Ausgangsposition eine stärkere Abduktion als sämtliche anderen klinischen Tests aufweist, ist dies ein weiterer möglicher Einflussfaktor, dessen Bedeutung im Rahmen der aktuellen Studie nicht hinreichend untersucht werden konnte.

Im Gegensatz zu den bisher erhobenen elektrophysiologischen Daten, die als Prozentsätze der maximal möglichen Willkürinnervation (%MVC) erfasst wurden [12,40], zeigt sich in unserem Datensatz mitnichten eine Spezifität der Testverfahren für den M. subscapularis bei den gemessenen Absolutwerten in μV . Im, mit anderen

Studien vergleichbaren, Kollektiv der gesunden Probanden zeigt sich insgesamt eine starke Aktivierung der restlichen Rotatorenmanschette, in allen Tests ist die absolute Aktivität des M. supraspinatus als Aussenrotator größer als diejenige der Anteile des M. subscapularis. Auch der posteriore Anteil des M. deltoideus, der ebenfalls keine Funktion als Innenrotator innehat, übertrifft in jedem der Tests die Aktivität des M. subscapularis. Eine detaillierte Auflistung findet sich in Tabelle 8. Angedeutet finden sich diese Ergebnisse im Sinne einer Aktivierung der Hilfsmuskulatur in einer elektrophysiologischen Untersuchung des „Lift off Test“ [73] sowie bezüglich der Mitkontraktion der restlichen Rotatorenmanschette in einer Arbeit von Chang et al. [7]. Biomechanisch geht möglicherweise eine starke Aktivierung bei maximaler Anspannung der Innenrotatoren bei den Probanden sowohl bei den aktiven als auch bei den passiven Tests mit einer verstärkten Kapselspannung und Aktivierung der Antagonisten einher und verursacht so die starke Aktivierung sowohl im Bereich der Rotatorenmanschette als auch im Bereich der Hilfsmuskulatur. Dies ist in der Patientengruppe ebenfalls, jedoch mit deutlich geringerer Gesamtaktivität, zu beobachten.

Lift off Test	M. SSP	3243,98 μ V	Belly press Test	M. delta post.	3057,92 μ V
	M. delta post.	2087,49 μ V		M. delta med.	2481,93 μ V
	M. delta med.	1731,93 μ V		M. SSP	1748,97 μ V
	M. SSC kaudal	1345,99 μ V		M. ISP	1427,47 μ V
	M. SSC kranial	1290,07 μ V		M. SSP kranial	1345,51 μ V
IRLS	M. SSP	3038,47 μ V	Belly off Zeichen	M. SSP	2845,58 μ V
	M. delta post.	2786,55 μ V		M. delta med.	2639,98 μ V
	M. SSC kaudal	1819,87 μ V		M. delta post.	2468,29 μ V
	M. teres minor	1398,43 μ V		M. ISP	1744,29 μ V
	M. ISP	1390,12 μ V		M. teres minor	1019,95 μ V

Tabelle 8

Maximale Muskelaktivität in μ V in der Probandengruppe

In Anbetracht des Verletzungsmusters der Rotatorenmanschette mit deutlicher funktioneller Einschränkung bei allen Patienten wäre eine Übernahme der Funktion durch an der Innenrotation beteiligte Muskulatur, wie M. latissimus dorsi, M. pectoralis major, M. teres major oder M. deltoideus anterior plausibel. Hier zeigte sich im Vergleich mit der Probandengruppe zwar eine insgesamt schwächere Aktivierung der

gesamten Muskulatur jedoch mit Ausnahme des M. deltoideus anterior bei den Testungen hinter dem Körper, sowie des M. pectoralis major bei allen klinischen Tests. Dieses kann als Versuch gewertet werden, die geschädigten Anteile des M. subscapularis durch andere an der Innenrotation beteiligten Muskeln zu kompensieren, jedoch reichen die zusätzlich rekrutierten Innenrotatoren nicht aus, den geschädigten Muskelanteil funktionell zu ersetzen. Bezüglich der Mm. latissimus dorsi und teres major lässt sich keine verstärkte Aktivierung in der Patientengruppe erkennen.

Das „Belly off Zeichen“ ist bezüglich seiner klinischen Relevanz hinreichend in der Arbeit von Scheibel et al. [70] untersucht und beschrieben, bei Patienten mit isolierten partiellen Sehnenrupturen des oberen Anteils des M. subscapularis zeigte sich eine höhere Sensitivität (100%) im Vergleich zu „Lift off Test“ (22%), „IRLS“ (33%) und „Belly press Test“ (56%). Dies spiegelt sich in den hier erhobenen elektrophysiologischen Daten wieder: Die Aktivität der Innenrotatoren Mm. pectoralis, teres major und deltoideus anterior war in der Patientengruppe bei der Durchführung des „Belly off Zeichens“ geringer als bei sämtlichen anderen Tests, sodass hier, möglicherweise aufgrund der divergierenden Ausgangsposition, eine geringere Aktivierung der akzessorischen an der Innenrotation beteiligten Muskulatur erfolgen kann.

4.1 Fehlerquellen

Trotz standardisierter Tests sind in der vorliegenden Studie einige Fehlerquellen aufzuzeigen, welche aufgrund des Studiendesigns und der technischen Details nicht vollständig zu beheben bzw. auszuschließen sind.

Bezüglich der individuell unterschiedlichen Patienten und Probanden können systematische Fehler bezüglich des Alters und damit auch der Muskelmasse zu verfälschten Messwerten führen, zudem sind schmerzbedingt verminderte Muskelaktivitäten im Patientenkollektiv oder nicht repräsentativ erfolgte maximale Innervation der Agonisten und Antagonisten in der Probandengruppe möglich. Auch aufgrund der geringen Patienten- und Probandenzahl können sich solche Fehler auf das Gesamtergebnis auswirken.

Weitere Fehler könnten durch die geringe Anzahl der abgeleiteten motorischen Einheiten bei den intramuskulären Elektroden auftreten, da diese nur einen winzigen Auszug des Muskels liefern und somit eventuell unzureichend aktive Anteile aufzeigen.

Ein weiteres Problem könnte durch die oberflächlichen Klebeelektroden entstehen, da sie häufig nicht nur den zu messenden Muskel, sondern auch Aktivitäten dicht benachbarter Muskulatur erfassen und es somit zu verfälschten Werten kommen kann.

Verfälschungen können auch durch die Wahl des auszuwertenden Datensatzes auftreten, da insbesondere die passiven Tests ein kurzes Aktivitätsfenster aufweisen, entsprechend wurde hier die Messdauer auf einer Sekunde verringert.

Da es sich beim Schultergelenk um das Gelenk mit der größten Beweglichkeit des menschlichen Körpers handelt und dessen biomechanischen Eigenschaften entsprechend komplex sind, können geringe bewusste oder unbewusste Veränderungen zu Fehlmessungen führen, die nur schwer zu verhindern sind.

4.2 Fazit

In der vorliegenden Studie konnte durch elektrophysiologische Untersuchungen erstmals aufgezeigt werden, dass bei einem Patientenkollektiv mit partiellen Rupturen des oberen Anteils des M. subscapularis im Vergleich zu einer Gruppe von gesunden Probanden bei der Durchführung der klinischen Untersuchungen „Lift off Test“ und „IRLS“ eine stärkere Aktivierung der Mm. deltoideus anterior und pectoralis major stattfindet, beim „Belly press Test“ und „Belly off Zeichen“ konnte eine vermehrte Aktivität des M. pectoralis major nachgewiesen werden. Somit konnte ein elektrophysiologisch untersuchbares Korrelat zur Hypothese einer verstärkten Aktivierung der Innenrotatoren im Schultergelenk bei Verletzungen des M. subscapularis aufgezeigt werden, die jedoch klinisch nicht ausreichend ist, eine funktionelle Kompensation zu erreichen.

Bei der ersten elektrophysiologischen Untersuchung des „Belly off Zeichens“ fand sich interessanterweise ein Korrelat zur außergewöhnlich hohen klinischen Sensitivität bezüglich von Partialrupturen der Sehne des M. subscapularis: Die Aktivität der Innenrotatoren Mm. pectoralis, teres major und deltoideus anterior war in der Patientengruppe bei der Durchführung des „Belly off Zeichens“ geringer als bei sämtlichen anderen Tests, sodass hier, möglicherweise aufgrund der divergierenden Ausgangsposition, eine geringere Aktivierung der akzessorischen an der Innenrotation beteiligten Muskulatur erfolgen kann.

5 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.....	3
Tabelle 2.....	14
Tabelle 3.....	28
Tabelle 4.....	28
Tabelle 5.....	33
Tabelle 6.....	42
Tabelle 7.....	46
Tabelle 8.....	67

6 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	4
Abbildung 2	5
Abbildung 3	6
Abbildung 4	8
Abbildung 5	9
Abbildung 6	11
Abbildung 7	15
Abbildung 8	16
Abbildung 9	20
Abbildung 10	21
Abbildung 11	22
Abbildung 12	23
Abbildung 13	24
Abbildung 14	25
Abbildung 15	27
Abbildung 16	29
Abbildung 17	34
Abbildung 18	35
Abbildung 19	38
Abbildung 20	39
Abbildung 21	40
Abbildung 22	46
Abbildung 23	47
Abbildung 24	47
Abbildung 25	48
Abbildung 26	48
Abbildung 27	51
Abbildung 28	53
Abbildung 29	55
Abbildung 30	57
Abbildung 31	59

Abbildung 32	60
Abbildung 33	61
Abbildung 34	62
Abbildung 35	63
Abbildung 36	63

7 LITERATURVERZEICHNIS

1. Bartl C, Habermeyer P. Rotatorenmanschetten-Ruptur. Funktionalität der Schulter im Visier einer pathologiekonformen Therapie. Orthopädie und Rheuma. (2001); 2: 23-27.
2. Basmajian JV, De Luca CJ. Muscles Alive: Their functions revealed by electromyography. William & Wilkins, Baltimore, Maryland, 1985; 5th edition.
3. Benninghoff A. Anatomie 1, makroskopische und mikroskopische Anatomie des Menschen; Urban und Schwarzenberg Verlag, München, 2004; 14. Auflage: 422-442.
4. Bigliani LU, Levine WN: Subacromial impingement syndrome: J Bone Joint Surg Am. (1997) Dec; 79(12): 1854-68.
5. Bokor DJ, Hawkins RJ, Huckell GH, Angelo RL, Schickendantz MS. Results of nonoperative management of full-thickness tears of the rotator cuff. Clin Orthop Relat Res. (1993) Sep; (294): 103-10.
6. Braune C, Gramlich H, Habermeyer P. Der makroskopische Aspekt der Rotatorenmanschettenruptur bei traumatischen und atraumatischen Rupturformen. Der Unfallchirurg. (2000); 103(6): 462-7.
7. Chang YW, Hughes RE, Su FC, Itoi E, An KN. Prediction of muscle force involved in shoulder internal rotation. J Shoulder Elbow Surg (2000); 9: 188-95.
8. Clark RJ, Marchessault J, Sizer PS Jr, Slaughterbeck J. Isolated traumatic rupture of the subscapularis tendon: J Am Board Fam Pract. (2002) Jul-Aug; 15(4): 304-8.
9. Cofield RH. Concepts review rotator cuff disease of the shoulder. J Bone Joint Surgery Am, (1985); 67: 974-979.
10. Cofield RH, Parvizi J, Hoffmeyer PJ, Lanzer WL, Listrup DM, Rowland CM. Surgical repair of chronic rotator cuff tears. A prospective long-term study. J Bone Joint Surg Am. (2001) Jan; 83-A (1): 71-7.

11. Connolly S, Ritchie D, Sinopidis C, Brownson P, Aniq H: Irreducible anterior dislocation of the shoulder due to soft tissue interposition of subscapularis tendon. *Skeletal Radiol.* (2008) Jan; 37(1): 63-5.
12. Decker M, Tokish M, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ. Subscapularis muscle activity during selected rehabilitation exercises. *Am J Sports Med* (2003); 31: 126-34.
13. DePalma AF, Cooke AJ, Prabhakar M: The role of the subscapularis in recurrent anterior dislocations of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* (1967); Sep-Oct; 54: 35-49.
14. Deutsch A, Altchek DW, Veltri DM, Potter HG, Warren RF. Traumatic tears of the subscapularis tendon. Clinical diagnosis, magnetic resonance imaging findings, and operative treatment. *Am J Sports Med.* (1997); Jan-Feb; 25(1): 13-22.
15. Dietz SO, Habermeyer P, Magosch P. Stand in der Versorgung der Rotatorenmanschettenruptur. *Zentralbl. Chir* (2002); 127: 194-202.
16. DiGiovine NM, Jobe FW, Pink M, Perry J. An electromyographic analysis of the upper extremity in pitching. *J Shoulder Elbow Surg* (1992);1:15-25
17. Ellman H, *Arthroscopic shoulder surgery and related Procedures*, LA FEBIGER, Editor 1993: Philadelphia. P 8-99.
18. Frick H, Leonhardt H, Stark D. *Allgemeine Anatomie, spezielle Anatomie 1.* (1992); Thieme Verlag, 4. Auflage: 184-211.
19. Fukuda H, Mikasa M, Ogawa K, Yamanaka K, Hamada K: The partial-thickness tear of the rotator cuff. *Orthop trans.* (1983); 7: 137.
20. Gaziells D., Gleyze P., Thomas P. *The cuff ed. Thomazeau and Lucas C.* (1997), Elsevier: Paris: 92-94.
21. Gerber C, Hersche O, Farron A. Isolated rupture of the subscapularis tendon: results of operative repair. *J Bone Joint Surg Am.* (1996) Jul; 78(7): 1015-23.
22. Gerber C, Krushell RJ: Isolated rupture of the tendon of the subscapularis muscle. Clinical features in 16 cases. *J Bone Joint Surg Br.* (1991) May; 73(3): 389-94.

23. Giroux C., Maton B. Surface EMG and motor unit activity of partially denervated human muscle during fatiguing submaximal isometric contraction. *Elektromyography and Neurophysiol.* (1990). 30: 282-291.
24. Gohlke F: Biomechanik der Schulter. *Der Orthopäde.* (2000); 29(10): 834-844.
25. Goutallier D., Bernageau J., Patte D. L'évaluation par le scanner de la Trophicité des muscle de la coiffe des rotateurs ayant une rupture tendineuse. *Rev. Chir Orthop* (1985). 1: 126-127.
26. Goutallier D., Postel J., Bernagease J., Lavau L., Voisim M. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures: Pre and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop*, (1994). 304: 78-83.
27. Gray's Anatomy of the Human Body. Goss CM (editor). 29th ed. Philadelphia: Lea & Febiger (1973).
28. Greis PE, Kuhn JE, Schultheis J, Hintermeister R, Hawkins R. Validation of the lift-off test and analysis of subscapularis activity during maximal internal rotation. *Am J Sports Med.* (1996) Sep-Oct; 24(5): 589-93.
29. Haas SL: Fracture of the lesser tuberosity of the humerus. *Am J Surg.* (1944); 63: 253-6.
30. Habermeyer P, Lichtenberg S, Magosch P: *Schulterchirurgie.* 4. Auflage München: Urban & Fischer Verlag (2010).
31. Habermeyer P. Sehnenrupturen im Schulterbereich. *Orthopäde* (1989), 18: 257-267.
32. Mod. nach Habermeyer P. *Schulterchirurgie.* München, Jena; Urban & Fischer Verlag. 3rd ed. (2002).
33. Habermeyer P., Hansen N., Jung D.: Arthroskopisch- Chirurgische Maßnahmen am Schultergelenk. *Der Chirurg* (1997); 68: 1085-1092.
34. Habermeyer P, Lehmann L. *Schulterchirurgie.* (1995); Urban & Fischer Verlag München: 333-75.

35. Habermeyer P, Lehmann L, Lichtenberg S: Rotatorenmanschetten-Ruptur, Diagnostik und Therapie. *Der Orthopäde*. (2000); 29, (3): 196-208.
36. Hansen ML, Otis JC, Johnson JS, Cordasco FA, Craig EV, Warren RF: Biomechanics of massive rotator cuff tears: implications for treatment: *J Bone Joint Surg Am*. (2008) Feb; 90(2): 316-25.
37. Hattrup SJ. Rotator cuff repair: relevance of patient age. *J Shoulder Elbow Surg*. (1995) Mar-Apr; 4(2): 95-100.
38. Helweg G, Moriggl B, Sperner G, Golser K, Frauscher F, Sögner P, Frede T, zur Nedden D: Sonographie der Schulter. *Radiologe*. (1996) Dec; 36 (12): 971-80.
39. Hertel R, Ballmer FT, Lombert SM, Gerber C: Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. *J Shoulder Elbow Surg*. (1996) Jul-Aug; 5(4): 307-13.
40. Hintermeister R, Lange GW, Schultheis JM, Bey MJ, Hawkins RJ. Electromyographic activity and applied load during shoulder rehabilitation exercises using elastic resistance. *Am J Sports Med* (1998); 26: 210-20.
41. Hollinshad WH. *Anatomy for surgeons: The back and limbs*. Vol. 3, 3rd ed. Philadelphia: Harper and Row (1982).
42. Imhoff AB, Hodler J: Correlation of MR imaging, CT arthrography and arthroscopy of the shoulder. *Bull Hosp Jt Dis*. (1996); 54(3): 146-52.
43. Imhoff AB, König U. *Die Schulter: Schulterinstabilität, Rotatorenmanschette*. Steinkopf Verlag, Darmstadt (1999).
44. Inaotti JP, Zlatkin MB, Esterhai JL, Kressel HY, Dalinka MK, Spindler KP: Magnetic resonance imaging of the shoulder: Sensitivity, specificity, and predictive value. *J Bone Joint Surg Am*. (1991) Jan; 73(1): 17-29.
45. Inman VT, Saunders JB, Abot LC: Observation on the function of the shoulder joint. *J Bone Joint Surg Am*. (1944); 26: 1-30.
46. Jenp YN, Malanga GA, Growney ES, An KN. Activation of the rotator cuff in generating isometric shoulder rotation torque. *Am J Sports Med*. (1996); 24(4): 477-85.

47. Jerosch J : Über die Funktion der passiven Stabilisatoren des glenohumeralen Gelenkes. In D. Kohn, C. J. Wirth: Die Schulter- Aktuelle operative Therapie. Thieme, Stuttgart, (1992).
48. Kadaba MP, Cole A, Wootten ME, McCann P, Reid M, Mulford G, April E, Bigliani L. Intramuscular wire electromyography of the subscapularis. J Orthop Res. (1992) May; 10(3): 394-7.
49. Kelly BT, Kadrmas WR, Speer KP. The manual muscle examination for rotator cuff strength. An electromyographic investigation. Am J Sports Med. (1996) Sep-Okt; 24(5): 581-8.
50. Kessel L, Watson M. The painful arc syndrome. Clinical classification as a guide to management. J Bone Joint Surg Br. (1977) May; 59(2): 166-72.
51. Kibler WB: Normal shoulder mechanics and function. Instr Course Lect. (1997); 46: 39-42.
52. Konrad P. EMG-Fibel. Eine praxisorientierte Einführung in die kinesiologische Elektromyografie. Köln: Velamed (2005) (Online-Version).
53. Kronberg M., Nemeth G., Brostrom LA. Muscle activity and coordination in the normal shoulder. Clin Orthop. (1990); 257:76-85.
54. Kuechle DK, Newman SR, Itoi E, Niebur GL, Morrey BF, An KN: The relevance of the moment arm of shoulder muscles with respect to axial rotation of the glenohumeral joint in four positions. Clinical Biomech (Bristol, Avon).(2000); 15(5): 322-9.
55. Kummer B: Anatomie und Biomechanik der Schulter. Hefte zur Unfallheilkd. (1975); 126: 5-19.
56. Labriola JE, Lee TQ, Debski RE, McMahon PJ. Stability and instability of the glenohumeral joint: the role of shoulder muscles. J Shoulder Elbow Surg. (2005) Jan-Feb; 14(1Suppl S): 32-38.
57. Milgrom C, Schaffler M, Gilbert S, van Holsbeeck M: Rotator-cuff changes in asymptomatic adults: The affect of age, hand dominance and gender. J Bone Joint Surg Br. (1995); 77(2): 296-8.

58. Morrison D, Bigliani L. The clinical significance of variations in acromial morphology. *Orthop Trans* (1987); 11:234.
59. Neer CS 2nd. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. *J Bone Joint Surg Am.* (1972) Jan; 54(1): 41-50.
60. Neviaser RJ, Neviaser TJ. Recurrent instability of the shoulder after age 40. *J Shoulder Elbow Surg.* (1995) Nov-Dec; 4(6): 416-8.
61. Noel E. Les ruptures de la coiffe des rotateurs avec tête humérale centrée. Résultats de traitement conservateur. A propos de 171 épaules. *Journées Lyonnaises de l'Épaule.* (1993); 283-97.
62. Nové-Josserand L, Gerber C, Walch G. Lesions of the antero- superior rotator cuff. In: Warner JJP, Iannotti JP, Gerber C (eds). *Complex and Revision Problems in Shoulder Surgery.* (1997) Philadelphia, New York: Lippincott- Raven.
63. Ozaki J, Fujimoto S, Nakagawa Y, Masuhara K, Tamai S: Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am.* (1988); 70(8): 1224-30.
64. Perry J. *Biomechaniks of the shoulder:* Rowe CR, ed. *The shoulder.* New York. (1988); 1-15.
65. Putz R., Pabst R. Sobotta I, *Atlas der Anatomie des Menschen.* Urban & Fischer. München, Jena. 21rd edition (2000).
66. Reilly P, Macleod I, Macfarlane R, Windley J, Emerey RJ. Dead men and radiologists don't lie: a review of cadaveric and radiological studies of rotator cuff tear prevalence. *Ann R Coll Surg Engl.* (2006) Mar; 88(2): 116-21.
67. Resch H, Povacz P. Die Behandlung bei chronischer Ruptur der Subskapularissehne durch Sehmentransfer des Musculus pectoralis major - erste Erfahrungen. *European Surgery* (1999); 31(3): 177-79.
68. Resch H, Povacz P, Ritter E, Matschi W. Transfer of the pectoralis major muscle for the treatment of irreparable rupture of the subscapularis tendon. *J Bone Joint Surg Am.* (2000) Mar; 82(3): 372-82.

69. Rickert M, Loew M: Die traumatische Zerreißung der Rotatorenmanschette beim Jugendlichen - Ein Fallbericht. *Z Orthop Ihre Grenzgebiete* (2000); 138(4): 340-3.
70. Scheibel M, Magosch P, Pritsch M, Lichtenberg S, Habermeyer P: The belly-off sign: a new clinical diagnostic sign for subscapularis lesions. *Arthroscopy* (2005) Okt; 21 (10): 1229-35.
71. Scheibel M, Habermeyer P: Aktuelle klinische Untersuchung der Schulter. *Der Orthopäde*. (2005); 34(3): 267-280.
72. Seltzer DG, Kechele P, Basamania C, Rockwood CA. Conservative management of rotator cuff tears. In: Burkhead WZ. *Rotator cuff disorders*. Baltimore: Williams and Wilkins (1996); 258-67.
73. Stefko JM, Jobe FW, VanderWilde RS, Carden E, Pink M: Electromyographic and nerve block analysis of the subscapularis lift-off test. *J Shoulder Elbow Surg*. (1997); 6(4): 347-55.
74. Suenaga N, Minami A, Fujisawa H: Elektromyographic analysis of internal rotational motion of the shoulder in various arm positions. *J Shoulder Elbow Surg*. (2003) Sep-Oct; 12(5): 501-5.
75. Tokish JM, Decker MJ, Ellis HB, Torry MR, Hawkins RJ: The belly press test for the physical examination of the subscapularis muscle: electromyographic validation and comparison to the lift-off test. *J. Shoulder Elbow Surg*. (2003) Sep-Oct; 12(5): 427-30.
76. Vahlensieck W, Reiser M (Hrsg). *MRT des Bewegungsapparats*. Stuttgart: Thieme (1997); 53-82.
77. Walch G: Synthèse sur l'épidémiologie et l'éthologie des ruptures de la coiffe des rotateurs. *Journées Lyonnaises de l'Épaule*. (1993); 256- 266.
78. Zlatkin MB, Iannotti JP, Roberts MC, Esterhai JL, Dalinka MK, Kressel HY, Schwartz JS, Lenkinski RE: Rotator cuff tears: diagnostic performance of MR- imaging. *Radiology*. (1989) Jul; 172 (1): 223-9.

8 ANHANG

8.1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	=	Abbildung
ACG	=	Akromio clavikular Gelenk
AHA	=	Akromio- Humeraler- Abstand
DELTA	=	M. deltoideus
GH	=	Glenohumoral
IRLS	=	Innenrotations-Lag- Zeichen
ISP	=	M. infraspinatus
LATD	=	M. latissimus dorsi
Lig.	=	Ligamentum
M.	=	Muskulus
Mm	=	Muskuli
MRT	=	Magnetresonanztomographie
o.g.	=	oben genannt
PECT	=	M. pectoralis
RM	=	Rotatorenmanschette
s.o.	=	siehe oben
SSP	=	M. supraspinatus

SSC	=	M. subscapularis
SSC1	=	kranialer Anteil des M. subscapularis
SSC2	=	kaudaler Anteil des M. subscapularis
Tab.	=	Tabelle
TM	=	M. teres minor
TMA	=	M. teres major

8.2 Lebenslauf

persönliche Angaben:

Name: Holger Lemke
Geburtsdatum: 09.08.1975
Geburtsort: VS- Villingen
Familienstand: ledig
Staatsang.: deutsch
Konfession.: ev.
Eltern: Traute Lemke, Dr. med. vet. Reinhart Lemke

Adresse: Holger Lemke
Luisenstr. 47
80333 München
Tel. : 089-45237907
Mobil : 0176-56338256
E-mail: holgerlemke@gmx.de

Schulbildung: 1987-1992 Gymnasium am Hoptbühl
1992-1996 Wirtschaftsgymnasium
1996 Abitur

Studium: 1997-2000 Studium der Humanmedizin an der LMU
 2001 Studium an der Universität Wien
 2002 Klinischer Abschnitt an der LMU München
 2003 Erstes Staatsexamen
 2005 Zweites Staatsexamen
 2006 Drittes Staatsexamen

praktische Erfahrung: 2006
 Klinik für Unfall- und
 Wiederherstellungschirurgie Balingen
 Ab 2007
 Klinik für Unfall- und
 Wiederherstellungschirurgie Klinikum Dritter
 Orden München
 Ab 2011
 Orthopädische Klinik
 Wolfartklinik München

9 DANKSAGUNG

Für die Überlassung des Themas dieser Doktorarbeit möchte ich mich herzlich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. A. B. Imhoff (Leitung der Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar München) bedanken.

Mein weiterer Dank geht an meine Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Markus Scheibel (leitender Arzt Centrum für muskulo-skeletale Chirurgie: Schulter, Ellenbogen und Handchirurgie Charité Berlin) für seine fortwährende Unterstützung und Betreuung sowie Herrn Dr. med. Alexander Peinemann (Facharzt FMH für Neurologie Schweiz) und Herrn PD Dr. med. Achim Berthele (geschäftsführender Oberarzt Klinikum rechts der Isar Neuro-Kopf-Zentrum München) für die Hilfe und Überlassung der Räumlichkeiten.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Lebensgefährtin Dr. med. Lena Armbruster bedanken, die mich während der gesamten Arbeit liebevoll unterstützt hat und immer ein offenes Ohr für mich hatte.

Außerdem möchte ich diese Gelegenheit nutzen, meinen Eltern Traute und Dr. med. vet. Reinhart Lemke sowie meiner Schwester Dr. med. Sabine Hövelborn für Ihre Unterstützung und Liebe zu danken.

Ein herzlicher Dank geht auch an meine Freunde Tatjana Eames, Dr. med. Filip Schneider, Guido Rolink, Dr. med. Markus Gühring, Sven Hezel, Rainer Neumann, Hannes Paulsen, Mario Holdenried sowie Thorsten Beha, für Ihre Beratung und tatkräftige Unterstützung.

Ich möchte auch nicht vergessen, mich bei meinen Patienten für Ihre Geduld und Bereitschaft an dieser Arbeit teilzunehmen, zu bedanken.