

Aus dem Institut für Röntgendiagnostik
der Universität Würzburg
Direktor: Prof. Dr. med. D. Hahn

**Die Wertigkeit der statischen und dynamischen Kernspintomographie
in der Beurteilung der Schulter vor und nach
Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion**

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg
vorgelegt von
Michaela Metschke
aus Werne an der Lippe

Würzburg, Oktober 2003

Referent: Professor Dr. med. D. Hahn

Koreferent: Professor Dr. med. J. Eulert

Dekan: Professor Dr. med. S. Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 04.05.2004

Die Promovendin ist Ärztin.

gewidmet meiner
Familie
in Zuneigung und Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Material und Methodik	4
2.1	Patientengut	4
2.1.1	Einteilung in Kollektive	4
2.1.2	Alter und Geschlecht der Patienten	4
2.1.3	Ätiologie der Rotatorenmanschetten-Läsion	4
2.1.4	Zeitpunkt der Untersuchung	4
2.1.5	Durchgeführte Untersuchungen	5
2.2	Die bildgebenden Verfahren	5
2.2.1	Durchführung der Kernspintomographie	5
2.2.1.1	Auswertung	7
2.2.2	Durchführung der Sonographie	12
2.2.2.1	Auswertung	13
2.2.3	Durchführung der Arthrographie	13
2.2.3.1	Auswertung	14
2.3	Der Constant-Score	16
2.4	Statistische Berechnungen	17
2.4.1	Berechnung der Sensitivität und Spezifität	17
2.4.2	Weitere statistische Berechnungen	17
3.	Ergebnisse	19
3.1	Ergebnisse der kernspintomographischen Untersuchung	19
3.1.1	Bildbeurteilbarkeit der 1. und 2. Nachuntersuchung	20
3.2	Ergebnisse der sonographischen Untersuchung	21
3.3	Ergebnisse der arthrographischen Untersuchung	23
3.4	Sonographische und kernspintomographische Befunde im Vergleich mit intraoperativ erhobenen Befunden, Spezifität und Sensitivität	24
3.5	Ergebnisse der dynamischen Untersuchung	25
3.5.1	Humeruskopfhochstand	25
3.5.1.1	Präoperatives Patientenkollektiv und Humeruskopfhochstand	26
3.5.1.2	Postoperatives Patientenkollektiv und Humeruskopfhochstand	26

3.5.1.3	Anzahl der rupturierten bzw. rerupturierten Sehnen und Subakromialraum	27
3.5.2	Der Subakromialraum in Abduktion	28
3.5.2.1	Präoperatives Patientenkollektiv	29
3.5.2.2	Postoperatives Patientenkollektiv	31
3.5.3	Anteriore / posteriore Translation des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion bei Belastung	34
3.5.4	Kraniale / kaudale Dezentrierung des Humeruskopfes	35
3.5.4.1	Anzahl der Patienten/Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Dezentrierung	35
3.5.4.2	Position des Humeruskopfes in Abhängigkeit von der Integrität der Rotatorenmanschette	38
3.5.4.2.1	Präoperatives Patientenkollektiv	38
3.5.4.2.2	Postoperatives Patientenkollektiv	41
3.5.4.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der kranialen / kaudalen Dezentrierung	44
3.6	Constant – Score	45
3.6.1	Präoperatives Patientenkollektiv	45
3.6.2	Postoperatives Patientenkollektiv	46
4.	Diskussion	47
4.1	Patientengut	47
4.2	Bildgebende Verfahren	47
4.2.1	Die Arthrographie	47
4.2.2	Die Sonographie	49
4.2.2.1	Bewertungskriterien	50
4.2.2.2	Sensitivität und Spezifität der Sonographie	52
4.2.2.2.1	Präoperatives Patientenkollektiv	52
4.2.2.2.2	Postoperatives Patientenkollektiv	54
4.2.3	Die Kernspintomographie	55
4.2.3.1	Bewertungskriterien	55
4.2.3.2	Sensitivität und Spezifität der Kernspintomographie	59
4.2.3.2.1	Präoperatives Patientenkollektiv	59
4.2.3.2.2	Postoperatives Patientenkollektiv	62

4.3	Dynamische kernspintomographische Untersuchung	64
4.3.1	Der Subakromialraum	65
4.3.1.1	Veränderungen des SAR bei Abduktion mit und ohne Belastung	66
4.3.1.2	Präoperatives Kollektiv	67
4.3.1.3	Postoperatives Kollektiv	71
4.3.2	Humeruskopfhochstand	73
4.3.2.1	Präoperatives Kollektiv	75
4.3.2.2	Postoperatives Kollektiv	77
4.3.3	Translation	77
4.3.3.1	Antero-posteriore Translation	78
4.3.3.2	Superior-inferiore Translation	80
4.4	Der Constant-Score	84
4.5	Die Bildbeurteilbarkeit	86
5.	Zusammenfassung	88
6.	Literaturverzeichnis	91
7.	Abkürzungsverzeichnis	102
	Danksagung	
	Lebenslauf	

1. Einleitung

Läsionen der Rotatorenmanschette sind ein häufig auftretendes Krankheitsbild (Cofield, 1985). Codman hob bereits 1934 die wirtschaftliche Bedeutung dieses Beschwerdebildes hervor, da viele Betroffene aufgrund von Schmerzen oder Funktionsverlust entweder zeitweise oder dauerhaft arbeitsunfähig werden. In den Vereinigten Staaten gelten Erkrankungen der Schulter nach Rückenproblemen als zweit häufigste Ursache für eine Berufsunfähigkeit (Hegmann K, 1997).

Die Pathogenese der Rotatorenmanschettenruptur ist meist multifaktoriell, wobei als häufigster Mechanismus ein direktes oder indirektes Trauma bei degenerativ vorgeschädigter Manschette angenommen wird (Norwood, 1989). Codman beschreibt eine sogenannte „kritische Zone“ nahe dem Sehnenansatz des M.supraspinatus, die aufgrund der schlechten Durchblutungssituation für degenerative Veränderungen anfällig ist. Rezidivierende Mikrotraumen, beispielsweise durch Überkopfarbeiten oder muskuläre Imbalance, die zu einer Einengung des Sehngewebes im Subakromialraum führt, sind hinzukommende Ursachen spontaner RM-Rupturen (Resch, 1995). In seltenen Fällen handelt es sich um akute, traumatische Rupturen mit unmittelbarem Funktionsverlust bei Patienten, welche vorher beschwerdefrei waren (Cofield, 1985).

Zur Diagnostik von Pathologien der Rotatorenmanschette stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Norwood et al. bemühten sich 1989, anhand des klinischen Bildes auf das Ausmaß einer Rotatorenmanschettenläsion zu schließen. Dem gegenüber stehen mehrere bildgebende Verfahren, welche zum Teil sehr detaillierte Aussagen über die Integrität der Rotatorenmanschette liefern.

Erkenntnisse aus konventionellen Röntgenaufnahmen der Schulter beschränken sich auf knöcherne Veränderungen wie zum Beispiel Sklerosezonen im Bereich des Tuberculum majus infolge einer Supraspinatusläsion, oder auf die Diagnose eines Humeruskopfhochstandes, der im Falle ausgeprägter Rotatorenmanschettenläsionen durch die Verringerung des subakromialen Abstandes gekennzeichnet ist.

Die Arthrographie, erstmals 1933 durch Oberholzer vorgestellt, galt lange Zeit als Methode der Wahl bei der Diagnostik von Rotatorenmanschettenrupturen. Hierbei wird intraartikulär ein Kontrastmittel appliziert. Im Falle einer Ruptur entsteht eine durch den Kontrastmittelaustritt nachweisbare Verbindung zwischen Gelenkraum und Bursa subacromialis bzw. subdeltoidea. Die Arthrographie erlaubt eine Aussage sowohl über das Ausmaß einer Ruptur, als auch über die Beschaffenheit der Rupturränder (Mink et al., 1985). Da es sich bei der Schulter um ein Gelenk mit vornehmlich muskulärer Führung handelt und Pathologien meist im Bereich der Weichteile auftreten, sind in den letzten Jahren die

bildgebenden Verfahren in den Vordergrund getreten, welche eine Darstellung der Muskeln und Sehnen des Schultergürtels ermöglichen.

Die Sonographie der Schulter, erstmals 1977 durch Mayer beschrieben, erlaubt als kostengünstiges, den Patienten wenig belastendes Verfahren eine genaue Beurteilung der Rotatorenmanschette. Einen weiteren Vorteil stellt die Möglichkeit der dynamischen Untersuchung dar. Allerdings ist die Aussagekraft dieses Verfahrens in hohem Maße abhängig von der Erfahrung des Untersuchers.

Mit der Kernspintomographie steht die bisher einzige bildgebende Methode zur Verfügung, die eine exakte Darstellung sowohl der knöchernen als auch der muskulären Anteile der Schulter ermöglicht. Der Schweizer Physiker und Chemiker Felix Bloch (1905-1983) beschrieb 1946 zum ersten Mal das Prinzip der Kernspinresonanz, wofür er 1952 gemeinsam mit dem Amerikaner Edward M. Purcell den Nobelpreis für Physik erhielt (H.Schachner). Die Weiterentwicklung zu einer Technik in der Medizin, mit Hilfe derer Bilder erzeugt werden können, wurde im Wesentlichen durch den amerikanischen Chemiker Paul Christian Lauterbur (geb. 1929) im Jahre 1973 vorangetrieben. Seit den 80er Jahren ist das Verfahren klinisch anwendbar. Die Darstellung der gesunden Schulter wurde ab 1986 häufiges Thema neuer Veröffentlichungen (Kieft et al, 1986; Huber et al, 1986; Seeger et al, 1987). Hohe Kosten durch lange Untersuchungszeiten beschränkten in den 80ern und frühen 90ern die Indikationsstellung zur Kernspintomographie. Mit der Einführung verbesserter Hard- und Software konnte jedoch in den letzten Jahren die Dauer der Untersuchungen erheblich reduziert werden. Damit wurde die Kernspintomographie auch im klinischen Alltag zu einer praktikablen Alternative zur Sonographie.

Unumstritten ist eine vergleichbar hohe Aussagekraft beider Methoden in der Diagnostik der nicht operierten Schulter. Die sonographische Beurteilung einer Schulter nach operativer Rekonstruktion der Rotatorenmanschette ist jedoch aufgrund von Veränderungen der Echogenität schwierig. Ein Ziel vorliegender Arbeit ist, die Aussagekraft beider Methoden sowohl bei einem präoperativen als auch innerhalb eines postoperativen Patientenkollektivs zu vergleichen.

Die Klinik der Rotatorenmanschettenruptur beinhaltet Funktions- und Kraftverlust der betroffenen Schulter, sowie häufig deutliche Bewegungsschmerzen. Insbesondere bei degenerativ vorgeschädigter Manschette wird meist primär ein konservativer Therapieversuch mit Krankengymnastik und subacromialen Infiltrationen unternommen mit dem Ziel, unter Erhalt der Beweglichkeit die Schmerzen zu reduzieren.

Hierbei stellt sich die Frage, ab welcher Größe einer Ruptur es zu einer veränderten Biomechanik kommt, bzw. welche Sehnen der Rotatorenmanschette es gilt primär zu rekonstruieren, um das Höherentreten des Humeruskopfes zu vermeiden. Zahlreiche Studien

haben sich bisher mit der Biomechanik bei Abduktion der Schulter befaßt. Ein Teil der Autoren hat dazu Versuche an Leichenschultern unternommen (Poppen and Walker, 1977; Weinstabl 1996). Fraglich ist, inwieweit der komplexe Mechanismus der Abduktion auf die Verhältnisse in vivo übertragbar ist. Mit Hilfe eines offenen Kernspintomographen und einer eigens für diese Studie entwickelten Konstruktion wurde in vorliegender Arbeit die aktive Abduktion der Schulter an gesunden Probanden und Patienten mit Rotatorenmanschettenläsionen unterschiedlichen Ausmaßes simuliert und die veränderte Biomechanik der einzelnen Gruppen miteinander verglichen.

2. Material und Methoden

2.1 Patientengut

2.1.1 Einteilung in Kollektive

Insgesamt wurden in vorliegender Studie 39 Personen untersucht. Das Kriterium für die Aufnahme in die Studie war eine sonographisch und klinisch vermutete Rotatorenmanschetten-Läsion, welche für eine arthroskopische Untersuchung und ggf. eine operative Rekonstruktion der Rotatorenmanschette vorgesehen war. Bei den Patienten des postoperativen Kollektivs war bereits eine RM-Rekonstruktion durchgeführt worden. Die gesunde Kontrollgruppe bestand aus freiwilligen asymptomatischen Probanden.

Es wurden 12 präoperative, 18 postoperative und 9 asymptomatische Patienten bzw. Probanden untersucht.

2.1.2 Alter und Geschlecht der Patienten

Das durchschnittliche Alter des präoperativen Kollektivs betrug 53,8 Jahre (40 - 64 Jahre; Streuung 7,9 Jahre), des postoperativen Kollektivs 55,2 Jahre (45 - 67 Jahre; Streuung 6,6 Jahre). Die Probanden waren durchschnittlich 24,8 Jahre alt (24 - 27 Jahre; Streuung 1,1 Jahre).

Die Anzahl der Frauen beschränkte sich im präoperativen Kollektiv auf eine Patientin, innerhalb der postoperativen Gruppe wurden drei, bei den Probanden vier Frauen untersucht.

2.1.3 Ätiologie der RM-Läsion

Die Anamnese aller Patienten ergab keinen Hinweis auf einen direkten kausalen Zusammenhang zwischen einem Trauma und der Rotatorenmanschettenläsion. Es handelt sich demnach ausnahmslos um degenerativ bedingte Veränderungen der Rotatorenmanschette.

2.1.4 Zeitpunkt der Untersuchung

Die sonographische und kernspintomographische Untersuchung erfolgte bei den präoperativen Patienten am Tag der stationären Aufnahme, d.h. ein bis drei Tage vor der

Operation. Den Zeitpunkt der 1. und 2.Nachuntersuchung des postoperativen Kollektivs kann man der Tabelle 2.1 entnehmen.

Tabelle 2.1: Zeitpunkt der Untersuchung des postoperativen Patientenkollektivs in Wochen

	n	Median	Vertrauensbereich	Min.	Max.
1.Nachuntersuchung	17	7,0	7,0 - 7,5	6,0	66,0
2.Nachuntersuchung	18	72,8	71,4 - 84,2	56,5	151,0

2.1.4 Durchgeführte Untersuchungen

Alle Patienten erhielten jeweils eine statische und dynamische sonographische und kernspintomographische Untersuchung, die Patienten des postoperativen Kollektivs zusätzlich eine Arthrographie in Doppelkontrast-Technik.

Bei 4 postoperativen Patienten wurde keine Sonographie, bei einem Patienten keine Kernspintomographie durchgeführt. Ein Patient erhielt keine arthrographische Untersuchung. Die 9 Probanden der Kontrollgruppe wurden nur kernspintomographisch untersucht.

2.2 Die bildgebenden Verfahren

2.2.1 Durchführung der Kernspintomographie

Die kernspintomographische Untersuchung des präoperativen Kollektivs erfolgte an einem offenem 0,2 Tesla Kernspintomographen (Magnetom OPEN, Siemens), wobei dem Patienten in Rückenlage eine ringförmige Oberflächenspule um die Schulter gelegt wurde. Die bei dieser Lagerung maximal erreichbare Adduktionsstellung des Armes, wobei die Hand in Neutralstellung gehalten wurde (Daumen zur Decke zeigend), wurde als „0-Position“ definiert.

In paracoronerer (parallel dem Verlauf der Supraspinatussehne) und orthogonal dazu in parasagittaler Schnittführung wurde eine T2- Protonen-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenz durchgeführt (T2: TR 2448, TE 106; Protonen: TE 2448, TR 26; FOV:220 mm; Matrix 256 X 256). Die Meßzeit betrug 5 min 39 Sekunden pro Ebene, angefertigt wurden jeweils 12 Schnitte mit einer Schichtdicke von 4 mm. Bestand in den paracoronaren Schichten ein Verdacht auf eine Läsion im Bereich des Subscapularis, wurde noch zusätzlich eine Messung in der Transversalebene durchgeführt.

Anschließend wurde der Arm des Patienten bzw. Probanden in eine 45° Abduktionsstellung gebracht. Die Verifizierung des Abduktionswinkels erfolgte anhand eines Localizers mit einer Schichtdicke von 15 mm. Auf einer der coronaren Schichten konnte der Winkel zwischen Arm und Körperachse des Patienten ausgemessen werden. Dabei wurde die Rotation der Scapula nicht berücksichtigt. Der Arm nahm bei dieser wie auch bei allen folgenden Messungen die Neutralstellung ein.

Erneut wurde die Supraspinatussehne durch die Anwendung von transversalen Scouts lokalisiert, anhand derer die folgenden Flash-Sequenzen (TR 37, TE 17, FOV 300 mm, Matrix 256 X 256) mit jeweils einer paracoronaren Schicht geplant wurden. Die Schichtdicke betrug 10 mm, die Meßzeit 8-9 Sekunden pro Schicht. Im Abstand von jeweils 5 mm wurden 4-6 Schnitte angefertigt. Im Folgenden wurden die gleichen Schnitte unter Belastung des Patienten durchgeführt. Hierzu diente die auf Abbildung 1 dargestellte Holzkonstruktion, mit Hilfe derer ein Gewicht von 2 kg über eine Rolle umgelenkt wurde, so daß es parallel der Körperachse des Patienten nach kaudal gerichtet war. Zur Beurteilung der Translationsbewegung des Humeruskopfes in axialer Richtung wurden zwei Schichten in transversaler Ebene, ebenfalls mit und ohne Belastung, durchgeführt. Hierbei wählte man eine Schicht durch den Humeruskopf und die Mitte des Glenoids.

Zuletzt wurden Messungen ohne und mit Belastung in 90° Abduktionsstellung erstellt, wobei die Vorgehensweise derjenigen in 45° Abduktion entsprach.

Dieses Protokoll wurde bei der kernspintomographischen Untersuchung der präoperativen Patientengruppe, der gesunden Kontrollgruppe und bei der zweiten Nachuntersuchung des postoperativen Kollektivs angewendet.

Die erste Nachuntersuchung des postoperativen Kollektivs nach durchschnittlich 7 Wochen erfolgte an einem 1,5 Tesla Ganzkörpertomographen (Philips Gyroscan S15) unter Verwendung einer Oberflächenspule untersucht.

Angewandt wurden T2- Protonen-gewichtete Spinecho-Sequenzen (T2: TR 1800, TE 90; Protonen: TR 1800, TE 30). Die Schnittführung wurde paracoronar, d.h. parallel zum Verlauf der Supraspinatussehne, gewählt, wobei zusätzliche Untersuchungen in parasagittaler (orthogonal zum Ansatz der Supraspinatussehne) bzw. in transversaler Schnittführung (bei fraglicher Beteiligung der Subscapularis- bzw. Infraspinatussehne) durchgeführt wurden.

Nebenwirkungen aufgrund der statischen und dynamischen Magnetfelder traten bei den verwendeten Feldstärken von 0,2 bzw. 1,5 Tesla nicht auf.

Abbildung 1: Konstruktion zur Simulation einer aktiven Abduktion der Schulter



2.2.1.1 Auswertung

Die Bewertungskriterien der Aufnahmen wurden im Folgenden in zwei Abschnitte gegliedert:

- Morphologie der RM des prä- und postoperativen Kollektivs und Einteilung der Bildbeurteilbarkeit bei Z.n. RM-Rekonstruktion

Die Bildinterpretation erfolgte durch einen in der Schulterdiagnostik erfahrenen Radiologen in Unkenntnis der Ergebnisse der anderen Untersuchungsverfahren.

Die Diagnose einer kompletten Ruptur wurde gestellt, wenn eine Sehne in ihrer gesamten Dicke unterbrochen war. Als sicheres kernspintomographisches Zeichen galt eine den gesamten Sehnenquerschnitt betreffende erhöhte Signalintensität im protonen- und T2-gewichteten Bild. Einen zusätzlichen Hinweis lieferte die bei größeren kompletten Rupturen auftretende Retraktion des muskulotendinösen Übergangs.

Bei der Diagnose einer partiellen Ruptur nahm der Signalanstieg im protonen- und T2-gewichteten Bild nicht die gesamte Dicke der Sehne ein (Kenn et al., 2000).

Bei den Aufnahmen des präoperativen Kollektivs sowie bei der zweiten Untersuchung der postoperativen Patienten wurde die Diagnose „komplette Ruptur - partielle Ruptur – intakte

Sehne“ für den M.supraspinatus, M.infraspinatus, M.subscapularis und die lange Bizepssehne getrennt gestellt. Die Befunde der ersten Untersuchung der präoperativen Patienten ließen sich retrospektiv in oben genannte Kategorien einteilen.

Die Beurteilbarkeit der Aufnahmen bei Zustand nach RM-Rekonstruktion wurde in folgende vier Klassen unterteilt:

Klasse	Beurteilbarkeit
1	gut
2	mäßig
3	ausreichend
4	nicht beurteilbar

In den meisten Fällen führten Artefakte durch Metallabrieb zu einer nicht optimalen Beurteilbarkeit der Bilder.

Abbildung 2: „sehr gute“ Bildbeurteilbarkeit einer Rotatorenmanschette nach
Rekonstruktion

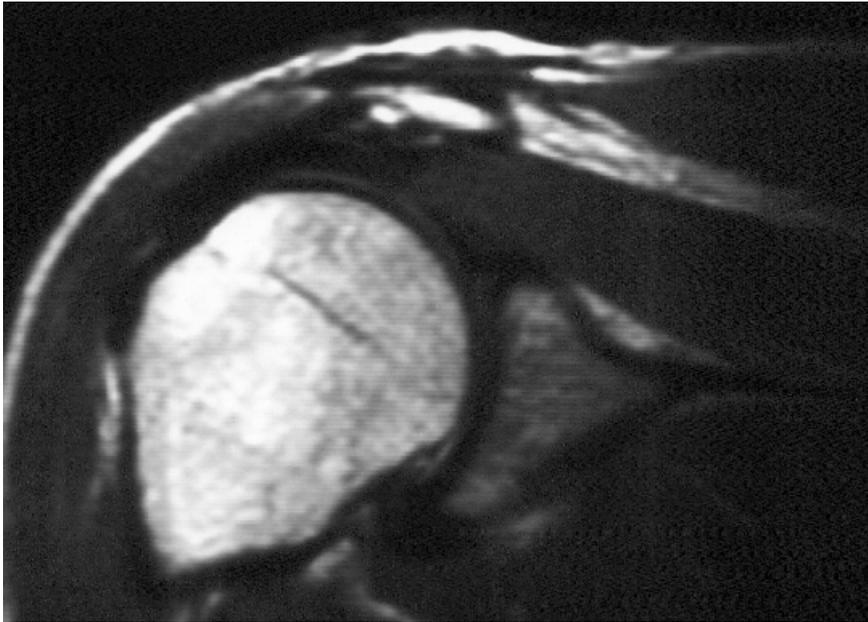
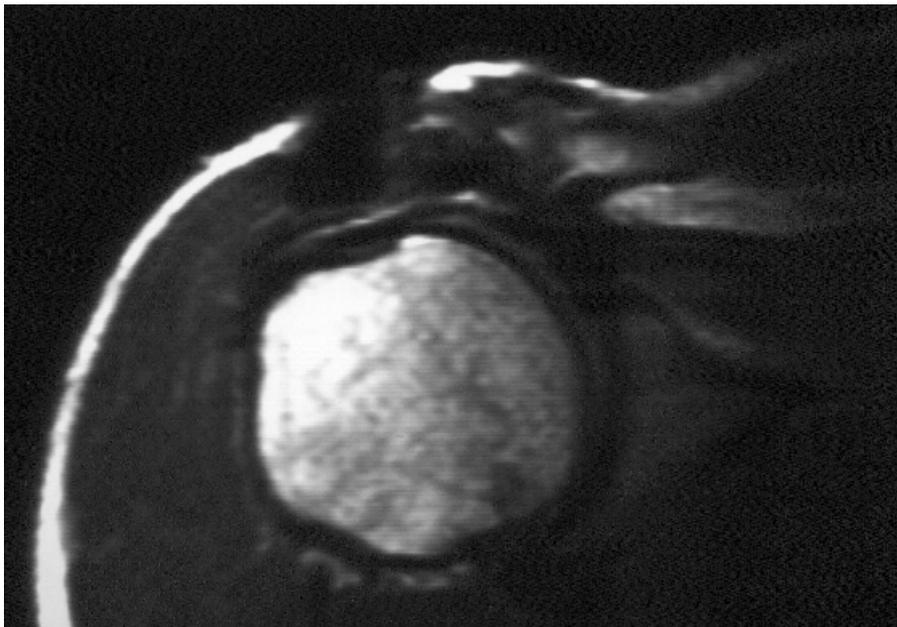


Abbildung 3: „Gute“ Bildbeurteilbarkeit einer Rotatorenmanschette, mit Metallartefakten



- Veränderung des Subakromialraumes sowie Translationsbewegungen bei Abduktion mit und ohne Belastung

Diese Kriterien wurden bei allen Patienten und Probanden erhoben.

Mit Hilfe der installierten Software wurden Distanzen, Kreise und Winkel direkt auf dem Bildschirm eingezeichnet und berechnet.

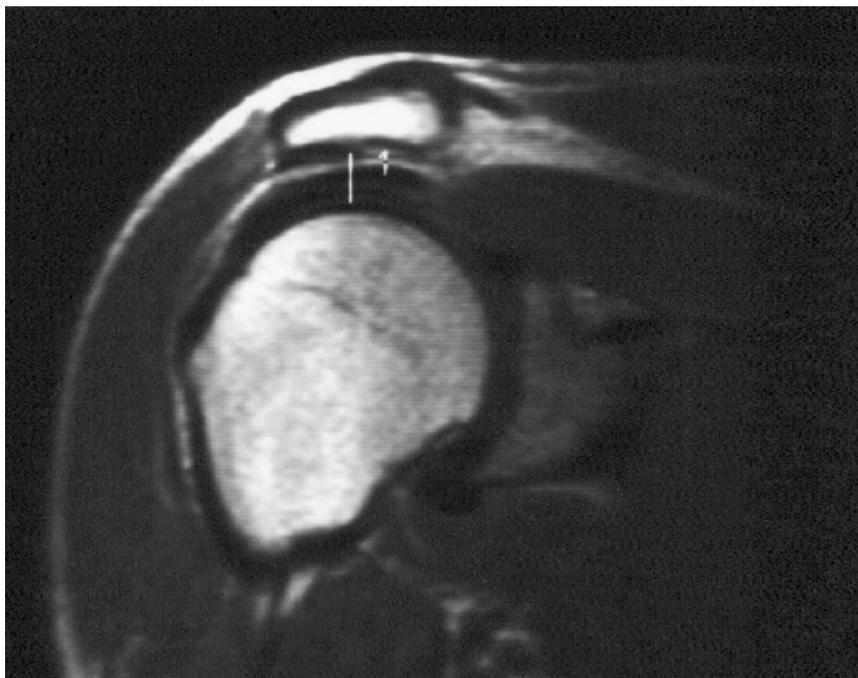
Eine Übersicht über die erhobenen Parameter bietet folgende Tabelle.

Tabelle 2.2:

Auswertungskriterium	Abduktionsstellung	-/+ Belastung
1. Subacromialraum	„0-Stellung“	-
	45°	-/+
	90°	-/+
2. Kraniale / kaudale Translation	45°	-/+
	90°	-/+
3. anteriore / posteriore Translation	45°	-/+
	90°	-/+

Die Messung des Subakromialraumes wurde auf paracoronaren Schichten in der jeweiligen Abduktionsstellung vorgenommen, wobei die kürzeste Distanz zwischen Humeruskopf und Akromionunterfläche notiert wurde.

Abbildung 4: Messung des Subakromialraumes anhand einer paracoronaren Schicht (SAR = 0,8 cm)



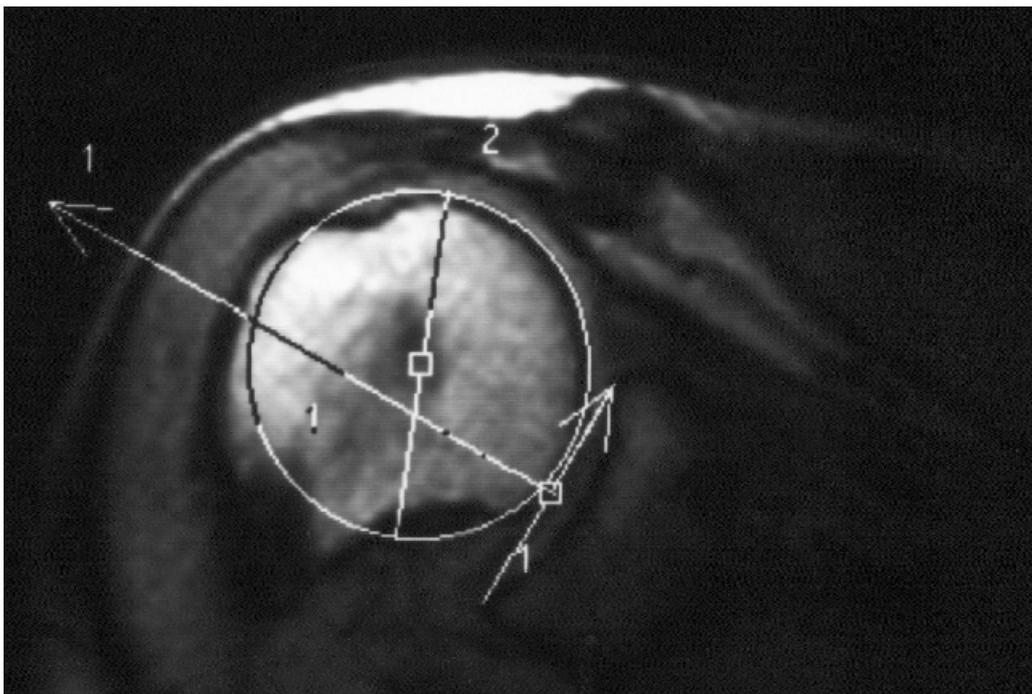
Bei der Diagnose eines Humeruskopfhochstandes wurde ein in der Literatur verwendeter Normalwert des Subacromialraumes verwendet (Petersson et Redlund-Johnell, 1984). Betrag der SAR weniger als 6 mm, wurde ein Humeruskopfhochstand beschrieben.

Als Dezentrierung in kranialer bzw. kaudaler Richtung wird die Abweichung des Humeruskopfmittelpunktes von der senkrecht zum Glenoid und durch dessen Mitte verlaufenden Achse berechnet (Poppen and Walker 1976, Deutsch et al. 1996).

Die Messungen erfolgen anhand paracoroner Schichten. Die Mitte des Humeruskopfes wird dem Mittelpunkt eines Kreises gleichgesetzt, dessen Rand die Konkavität der Gelenkfläche des Kopfes deckt. Die Verbindungslinie zwischen den Rändern des Glenoids wird durch eine dazu orthogonale Achse halbiert. Befindet sich der Humeruskopf-Mittelpunkt über dieser Achse, so wird dies als kraniale Dezentrierung definiert, liegt er darunter, handelt es sich um eine Dezentrierung in kaudaler Richtung. Der Wert dieser Dezentrierung wird in Millimetern gemessen.

Als Translation des Humeruskopfes wird dessen zusätzliche Bewegung in einer bestimmten Abduktionsstellung bei Belastung bezeichnet. Sie beschreibt die Differenz der Dezentrierung nach Belastung und der Dezentrierung vor Belastung.

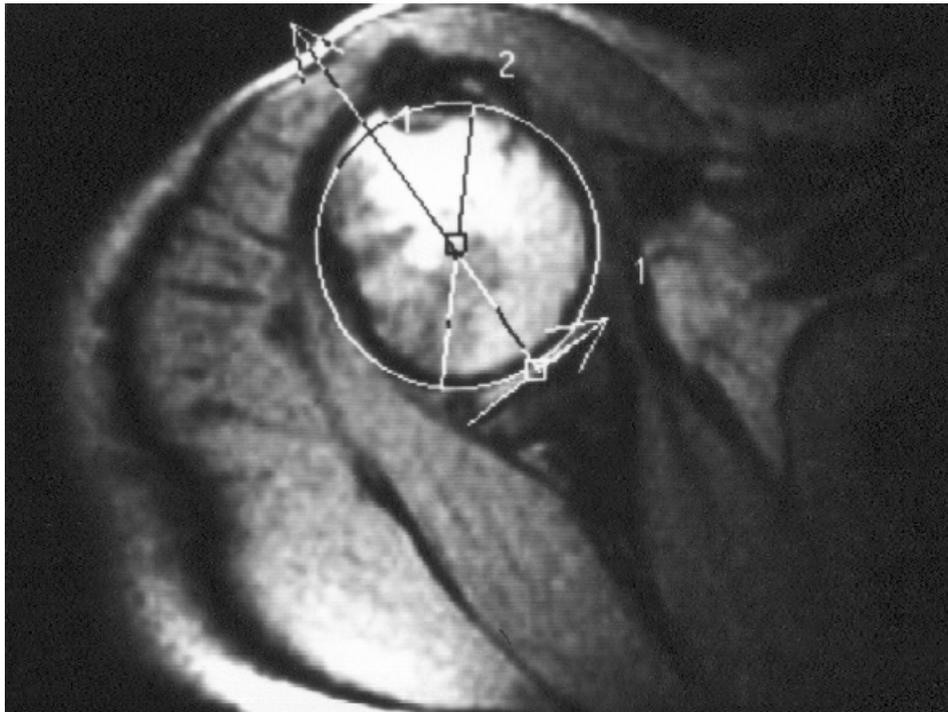
Abbildung 5: Messung der kranialen Dezentrierung (45° Abduktion: 0,3 cm)



Bei der Ermittlung der anterioren bzw. posterioren Translation kamen Schichten in transversaler Ebene zur Anwendung (Howell et al. 1988). Wieder wurde die Mitte des Humeruskopfes durch einen Kreis bestimmt. Die Glenoidränder wurden durch eine Linie verbunden und deren Mitte gekennzeichnet. Der Abstand des Humeruskopfmittelpunktes

von einer Senkrechten durch den Mittelpunkt dieser Linie beschreibt das Ausmaß der Dezentrierung in anteriorer oder posteriorer Richtung. In vorliegender Arbeit wurde nur die Translation, das heißt die Differenz der Dezentrierung ohne und mit Belastung, ausgewertet.

Abbildung 6: Messung der anterioren bzw. posterioren Translation



Die Variabilität der Meßergebnisse betrug 15%, beispielhaft an fünf Probanden gemessen.

2.2.2 Durchführung der Sonographie

Zur Anwendung kam ein Ultraschallgerät mit einem 7,5 MHz Linearschallkopf. Bei dieser Frequenz beträgt die maximale Eindringtiefe ca. 7 cm, der effektive Fokusbereich liegt bei 2 bis 5 cm. Damit liegen bei der Sonographie der Rotatorenmanschette die zu untersuchenden Objekte zum größten Teil innerhalb des effektiven Fokusbereichs, in welchem das Auflösungsvermögen am größten ist (Katthagen, 1988). Eine Vorlaufstrecke wurde nicht verwendet.

Die Dokumentation der Befunde erfolgte mittels einer Multiformatkamera.

Die Untersuchung des präoperativen Patientenkollektivs wurde durch verschiedene Orthopäden durchgeführt, wohingegen die Patienten der postoperativen Gruppe sowohl bei der ersten als auch der zweiten Nachuntersuchung von demselben Orthopäden

sonographiert wurden. Die Sonographie erfolgte durch in der Ultraschalldiagnostik der Schulter erfahrene Ärzte in Unkenntnis der kernspintomographischen bzw. arthrographischen Ergebnisse.

Die sonographischen Untersuchungen in dieser Studie wurden jeweils statisch und dynamisch am sitzenden Patienten durchgeführt. Die Schnittebenen in longitudinaler und axialer Richtung wurden gemäß einem standardisierten Protokoll gewählt. Nebenwirkungen des Verfahrens sind nicht bekannt.

2.2.2.1 Auswertung

Als Kriterium einer kompletten Ruptur galt die fehlende Darstellung oder fokale Ausdünnung einer Sehne (Gohlke et al., 1996).

Der Befund jeder sonographischen Untersuchung wurde detailliert in einem dafür entworfenen Befundbogen dokumentiert, anhand dessen retrospektiv eine Einteilung in Läsionen der einzelnen Muskeln der Rotatorenmanschette erfolgte (Supraspinatus, Subscapularis, Infraspinatus und lange Bizepssehne). Der M.teres minor, welcher definitionsgemäß ein Teil der Rotatorenmanschette ist, wurde nicht getrennt beurteilt. Der jeweilige Muskel bzw. die Sehne wurde als intakt, inkomplett oder komplett rupturiert bezeichnet. Bei der Untersuchung der postoperativen Patienten wurde zwischen der Diagnose einer intakten Manschette und einer Reruptur unterschieden.

2.2.3 Durchführung der Arthrographie

Bei allen in dieser Studie durchgeführten Arthrographien kam die Doppelkontrasttechnik zur Anwendung. Auf einem Bildwandlertisch wurde der Patient mit außenrotiertem, leicht abduziertem Arm gelagert. Nach gründlicher Desinfektion wurde mit Hilfe einer Kanüle unter Bildwandlerkontrolle die Punktionsstelle in Projektion auf den Übergang vom mittleren zum unteren Drittel des Gelenkspaltes ermittelt.

Zur Punktion führte der Untersucher die Nadel senkrecht ein. Im Folgenden wurden 5ml eines jodhaltigen Kontrastmittels (Isovist, Schering AG) und anschließend 15 ml Raumluft in den Gelenkspalt injiziert. Bereits während der Injektion wurde die Verteilung des Kontrastmittels unter Durchleuchtungskontrolle beobachtet und bei auffälligem Befund, wie z.B. bei Austritt in die Bursa subacromialis bzw. subdeltoidea, dokumentiert. Nach Entfernung der Punktionskanüle bewegte der Untersucher die Schulter passiv durch, um eine gleichmäßige Verteilung des Kontrastmittels zu gewährleisten. Anschließend wurden

Zielaufnahmen im anterior-posterioren Strahlengang bei einer Angulierung der Bildröhre von 15° kranio-kaudal in Neutralstellung sowie in Innen- und Außenrotation angefertigt. Bei den untersuchten Personen traten keine Unverträglichkeiten oder Nebenwirkungen auf.

2.2.3.2 Auswertung

Die Auswertung der Arthrographie erfolgte durch einen in der Schulterdiagnostik erfahrenen Radiologen in Unkenntnis der Ergebnisse der anderen Untersuchungen.

Die rekonstruierte Rotatorenmanschette wurde in folgende Kategorien eingeteilt:

0 = intakt

1 = kleine Reruptur (< 1cm)

2 = große Reruptur.

Als intakt wurde eine Rotatorenmanschette bezeichnet, wenn keine Verbindung zwischen Gelenkbinnenraum und Bursa subacromialis bzw. subdeltoidea bestand.

Die Diagnose einer Reruptur wurde gestellt, sobald ein Übertritt von Kontrastmittel in die Bursa subacromialis bzw. subdeltoidea nachzuweisen war. Eine Differenzierung der Größe der Reruptur erfolgte anhand der Breite des Kontrastmittelübertritts.

Abbildung 7: Arthrographie einer intakten Rotatorenmanschette bei Z.n. RM-Rekonstruktion

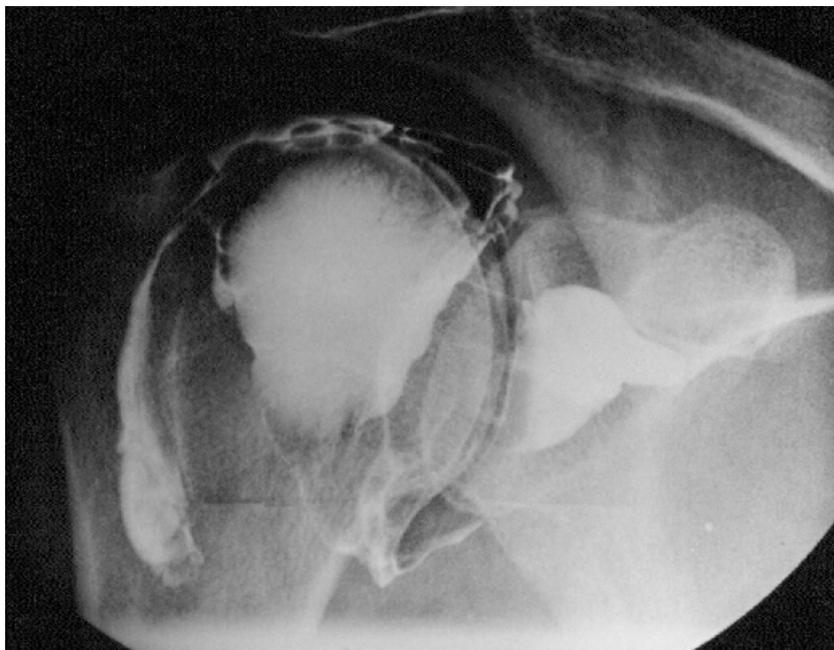


Abbildung 8: Arthrographie einer nicht wasserdicht verschlossenen RM bei Z.n. RM-Rekonstruktion ohne arthrographisch nachgewiesene Rupturstelle

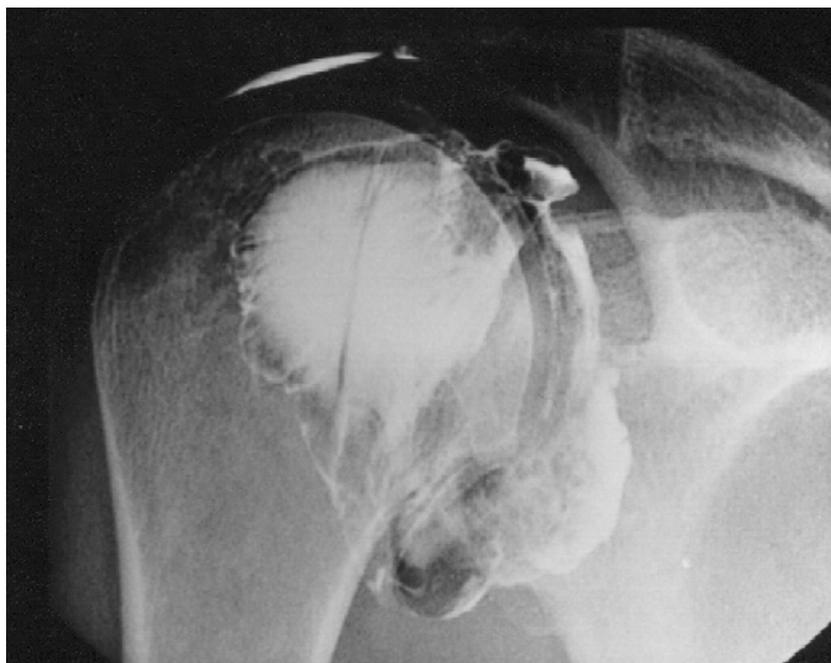


Abbildung 9: Arthrographie einer Rotatorenmanschette mit breiter Reruptur nach Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion



2.3 Der Constant-Score

Um die Funktion einer verletzten bzw. einer operierten Schulter einschätzen zu können, wurde bei jedem Patienten der sogenannte Constant-Score ermittelt (Constant CR, Murley AHG: 1987). Dieser beinhaltet zum einen die subjektive Beurteilung des Patienten zu seiner persönlichen Beeinträchtigung im täglichen Leben sowohl durch Schmerz als auch durch Bewegungseinschränkungen, zum anderen wird in einem zweiten objektiven Teil das Bewegungsausmaß und die Kraft ermittelt. Die nicht betroffene Schulter wird zum Vergleich stets mit untersucht. Insgesamt werden 100 Punkte vergeben, wobei eine gute Funktion der Schulter zu einem hohen Score führt. Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Verteilung der maximal erreichbaren Punkte im Einzelnen:

Tabelle 2.3: Erhebungsbogen nach Constant

	Rechts	links
1. Anamnese (Trauma, Luxation, Sport, Vorbehandlung)	-	
2. Schmerz	15	15
Einschränkung im täglichen Leben		
• bei der Arbeit	4	4
• in Sport und Freizeit	4	4
• beim Schlaf	2	2
• Tätigkeiten möglich bis „über Kopf“=10, „Taille“=2	10	10
3. Befund		
Bewegungsausmaß (aktiv)		
• Abduktion	10	10
• Flexion	10	10
• Innenrotation	10	10
• Außenrotation	10	10
Kraft in gehaltener Abduktion	25	25
Maximal erreichbare Punktzahl	100	100

Die Kraftmessung erfolgt mit Hilfe eines Dynamometers. Das Gerät wird auf dem Boden befestigt, der Patient hält den an einem Draht befestigten Griff. In sitzender Position bei 90° abduziertem und 30° flektiertem Arm muß der Patient nun den Arm etwa 5 Sekunden maximal isometrisch abduzieren. Die Kraft wird in Pfund auf dem Display des Gerätes angegeben. Dieser Versuch wird nach entsprechenden Ruhepausen dreimal wiederholt und anschließend der Mittelwert der gemessenen Werte errechnet.

2.4 Statistische Berechnungen

2.4.1 Berechnung der Sensitivität und Spezifität

Die Aussagekraft der bildgebenden Verfahren wird mit Hilfe folgender Berechnungen als Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Methode angegeben (Trampisch et al.1997):

Sensitivität: Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Verfahren einen pathologischen Befund als solchen erkennt

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{richtig positiv}}{\text{richtig positiv} + \text{falsch negativ}}$$

Spezifität: Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein Verfahren einen nicht pathologischen Befund als solchen erkennt

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{richtig negativ}}{\text{richtig negativ} + \text{falsch positiv}}$$

2.4.2 Weitere statistische Berechnungen

Weitere Tests, die in vorliegender Studie Anwendung finden, wurden mittels des statistischen Datenverarbeitungsprogrammes Medas berechnet (Fa. C.Grund, 1995).

a) Exakter Chiquadrat – Test nach Mehta und Patel

Um die Abhängigkeit zweier klassifizierbarer Variablen zu überprüfen, bedient man sich des Chiquadrat – Tests. Ist bei zu geringer Besetzung der Felder die Berechnung dieses Tests nicht möglich, kommt der exakte Chiquadrat – Test nach Mehta und Patel zur Anwendung. Mit Hilfe dieses Tests wurde zum Beispiel die Abhängigkeit zwischen dem Auftreten eines Humeruskopf – Hochstandes und dem arthrographischen Befund einer Reruptur untersucht.

b) U-Test nach Mann und Whitney, Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

Die prä- und postoperativen Patientenkollektive vorliegender Studie wurden jeweils in Untergruppen unterteilt. So wurden die Patienten präoperativ je nach der Anzahl der rupturierten Sehnen einer Untergruppe zugeteilt, postoperativ wurde die Einteilung in Gruppen mit und ohne Reruptur vorgenommen. Zur Berechnung signifikanter Unterschiede beispielsweise des SAR oder der Translation des Humeruskopfes bei Belastung in den einzelnen Untergruppen wurde der U-Test nach Mann und Whitney angewendet. Handelte es sich um mehr als zwei Untergruppen, kam der Kruskal-Wallis-H-Test zur Anwendung. Beide Tests gelten für beliebig verteilte Variablen.

c) Spearmansche Rangkorrelation

Um den Zusammenhang zweier Variablen zu prüfen, die bei demselben Patienten erhoben wurden, verwendet man die Spearmansche Rangkorrelation für beliebig verteilte Variable. Mit Hilfe dieses Tests wurde zum Beispiel der Zusammenhang zwischen der Anzahl der rupturierten Sehnen und dem SAR untersucht.

Jeder Test liefert einen p-Wert, dem man eine Signifikanz zuteilt. Die Signifikanz bedeutet das Maß für die Sicherheit, mit der eine Aussage getroffen wird.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der kernspintomographischen Untersuchung

a) Präoperatives Kollektiv

Insgesamt wurden zwölf Patienten präoperativ kernspintomographisch untersucht. Aufgrund von Schmerzen konnte von fünf Patienten die 90°-Abduktionsstellung nicht eingenommen werden, bei einem Patienten fehlt aus demselben Grund die axiale Schicht in 45° Abduktion, bei einem weiteren in 90°.

Die Befunde der 12 untersuchten Patienten ergaben in einem Fall eine intakte Rotatorenmanschette, bei 3 Patienten eine komplette Ruptur der Supraspinatussehne. Der M.supraspinatus wurde in 4 Fällen als partiell rupturiert befundet, wobei bei einem Patienten zusätzlich die Sehne des M.infraspinatus komplett rupturiert war. Zwei weitere Patienten wiesen eine Beteiligung von 2 Sehnen der Rotatorenmanschette auf, wobei einmal eine komplette Ruptur des M.supraspinatus und M.infraspinatus diagnostiziert wurde; bei einem Patienten handelte es sich um eine komplette Ruptur des M.supraspinatus und M.subscapularis. Bei einem Patienten wurde eine Ruptur der Supraspinatussehne und der langen Bizepssehne diagnostiziert. Da die lange Bizepssehne nicht Bestandteil der Rotatorenmanschette ist, wurde dieser Patient bei der Auswertung als Ein-Sehnen-Ruptur gewertet.

Der Vergleich mit den intraoperativ erhobenen Diagnosen ergab in einem Fall den kernspintomographischen Befund einer intakten Manschette, welche intraoperativ eine Supraspinatus-Läsion aufwies. Im Fall eines Patienten mit komplett rupturierter Infraspinatussehne wurde kernspintomographisch eine sich anschließende partielle Ruptur der Supraspinatussehne diagnostiziert, welche während der Operation nicht verifiziert werden konnte. Ebenso konnte eine komplette Ruptur des M.infraspinatus bei einem Patienten mit zusätzlicher Supraspinatus-Läsion intraoperativ nicht bestätigt werden. Zwei komplett rupturierte Sehnen wurden kernspintomographisch als partiell rupturiert bezeichnet, und die Läsionen des M.infraspinatus in einem Fall und des M.subscapularis in einem anderen wurden mittels der Kernspintomographie nicht erkannt.

Einen Überblick über den Vergleich der kernspintomographischen und sonographischen mit den intraoperativ erhobenen Befunde gibt Tabelle 3.3 in einem folgenden Kapitel.

b) Postoperatives Kollektiv

Die erste Nachuntersuchung des postoperativen Kollektivs erfolgte im Durchschnitt 7 Wochen nach der Operation. Hierbei wurden 13 der 17 Patienten, die an der folgenden Untersuchung nach durchschnittlich 73 Wochen teilnahmen, kernspintomographisch untersucht. Dabei wurde in einem Fall eine komplette Reruptur des M.supraspinatus diagnostiziert, die übrigen Patienten zeigten eine intakte Rotatorenmanschette.

Zu der Nachuntersuchung nach durchschnittlich 73 Wochen stellten sich 18 Patienten vor. Bei einem Patienten mußte die Kernspintomographie aufgrund klaustrophober Beschwerden abgebrochen werden; so daß in diesem Fall keine Sequenzen in Abduktionsstellung vorliegen. Die Untersuchung eines weiteren Patienten war wegen massiver Adipositas nicht möglich.

Bei 17 Patienten des postoperativen Kollektivs konnte ein Befund erhoben werden. Elf Patienten wiesen eine intakte Rotatorenmanschette auf, in 3 Fällen wurde eine komplette Reruptur der Supraspinatussehne diagnostiziert. Bei weiteren 3 Patienten ergab der kernspintomographische Befund eine komplette Reruptur des M.supraspinatus und M.infraspinatus.

Aufgrund starker Bewegungsartefakte war die Messung der Translation bei einer Patientin des postoperativen Kollektivs nicht möglich.

3.1.1 Bildbeurteilbarkeit der 1. und 2. Nachuntersuchung

Nach subjektiver Einschätzung teilte der befundende Radiologe die kernspintomographischen Bilder der beiden postoperativen Untersuchungen nach ihrer Beurteilbarkeit in vier Kategorien ein.

Tabelle 3.1: Die Bildbeurteilbarkeit der 1. und 2. Nachuntersuchung

	Bildbeurteilbarkeit					
	1	2	3	4	Gesamt	MW
1.Untersuchung	0	4	4	6	14	3,1
2.Untersuchung	12	4	0	0	16	1,25

Tabelle 3.2: Die Veränderung der Bildqualität von der 1. zur 2. Nachuntersuchung

		1.Untersuchung			
		2	3	4	Gesamt
2.Untersuchung	1	2	2	5	9
	2	2	1	1	4
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	0
	Gesamt	4	3	6	13

Bei der ersten Nachuntersuchung (durchschnittlich 7 Wochen post OP) ergaben 43% der Bilder eine schlechte Bildqualität (4 auf einer Skala von 1 bis 4), 10 von 14 Untersuchungen erhielten die Noten 3 oder 4. Die Ursache waren in allen bis auf einen Fall Metallabriebartefakte, welche die Qualität und somit die Beurteilbarkeit der Bilder erheblich beeinflusst.

Die zweite Untersuchung, die durchschnittlich 73 Wochen nach der Operation stattfand, ergab in 12 von 16 Fällen (75 %) eine ausgezeichnete Beurteilbarkeit.

3.2 Ergebnisse der sonographischen Untersuchung

a) Präoperatives Kollektiv

Die Schultern der zwölf Patienten des präoperativen Kollektivs wurden vor der operativen Rekonstruktion der Rotatorenmanschette sonographisch untersucht.

Tabelle 3.3: Befunde der präoperativen sonographischen Untersuchung

n(gesamt) = 12

0 : intakt; 1: partielle Ruptur; 2 : komplette Ruptur;

n	SSP	ISP	SSC	LBS
1	1	0	0	0
5	2	0	0	0
1	1	0	2	0
1	2	1	0	0
1	2	0	2	0
1	2	2	0	0
1	2	2	2	0
1	2	2	0	2

Der Vergleich mit intraoperativ erhobenen Ergebnissen zeigte in drei Fällen sonographisch falsch positiv erhobene Befunde, zwei davon komplette Rupturen des M.infraspinatus und des M.subscapularis, und eine partielle Ruptur des M.supraspinatus. Eine komplette Ruptur des M.supraspinatus bei einem Patienten, des M.subscapularis bei einem anderen wurde sonographisch als partiell rupturiert beschrieben, im Falle einer partiellen Ruptur beschrieb der Untersucher sonographisch eine komplett rupturierte Supraspinatussehne. Eine intraoperativ diagnostizierte komplette Ruptur des M.infraspinatus war sonographisch nicht erkannt worden.

b) Postoperatives Kollektiv

Von der ersten Nachuntersuchung des postoperativen Kollektivs lagen sonographische Befunde von 14 Patienten vor, die auch an der zweiten Nachuntersuchung teilnahmen. Die erste Untersuchung zeigte in einem Fall das Bild einer kompletten Reruptur des M.infraspinatus, bei einem anderen Patienten wurde eine Reruptur der Supraspinatus- und Infraspinatussehne diagnostiziert.

Die zweite sonographische Nachuntersuchung (durchschnittlich 73 Wochen postoperativ) wurde an 14 Patienten durchgeführt. Bei weiteren vier Patienten des Kollektivs lag kein sonographischer Befund vor. Die Zwei-Sehnen-Ruptur, die bereits während der ersten Untersuchung nachgewiesen worden war, ließ sich auch etwa ein Jahr später darstellen. Im Falle des Patienten mit nachgewiesener Ruptur des M.infraspinatus wurde zusätzlich eine Läsion des M.supraspinatus diagnostiziert. Außerdem zeigte sich in zwei Fällen das Bild einer bei der Erstuntersuchung noch nicht

vorhandenen Reruptur, wobei in einem Fall die Supraspinatussehne, in einem anderen die Supraspinatus- und Infraspinatussehne betroffen war.

3.3 Ergebnisse der arthrographischen Untersuchung

Bei 17 der 18 postoperativen Patienten wurde direkt im Anschluß an die zweite kernspintomographische Nachuntersuchung eine Arthrographie der Schulter durchgeführt. Unverträglichkeiten oder andere Komplikationen traten hierbei nicht auf.

Tabelle 3.4: Ergebnisse der postoperativen Arthrographie

Arthrographischer Befund	n
RM intakt	10
kleine Reruptur	3
große Reruptur	4
Gesamt	17

Die infolge der Arthrographie als klein bezeichnete Rupturen (n = 3) waren sonographisch als intakt gewertet worden. Die Kernspintomographie ergab bei zwei dieser Patienten jeweils eine kleine, jedoch komplette Ruptur des M.supraspinatus, in einem Fall wurde eine zusätzliche Beteiligung der Infraspinatussehne beschrieben.

Bei den „großen Rerupturen“ handelte es sich in zwei Fällen um sowohl sonographisch als auch kernspintomographisch diagnostizierte Zwei-Sehnen-Rupturen mit Beteiligung des M.supraspinatus und M.infraspinatus. Ein Patient wies sonographisch eine komplette Supraspinatussehnenruptur auf, die kernspintomographische Untersuchung war bei diesem Patienten nicht möglich gewesen. Der MRT-Befund des vierten Patienten mit arthrographisch großer Reruptur beschreibt eine komplette Ruptur des M.supraspinatus, sonographisch war eine zusätzliche Beteiligung des M.infraspinatus erkannt worden.

3.4 Sonographische und kernspintomographische Befunde im Vergleich mit intraoperativ erhobenen Befunden

Tabelle 3.5: Übereinstimmung der Sonographie- bzw. KST-Befunde mit intraoperativ erhobenen Befunden des präoperativen Patientenkollektivs

Supraspinatus		OP-Befund			
		intakt	partiell	komplett	Gesamt
Sonographie	intakt	0	0	0	0
	partiell	1	0	1	2
	komplett	0	1	8	9
	Gesamt	1	1	9	11
KST	intakt	0	0	1	1
	partiell	1	1	2	4
	komplett	0	0	6	6
	Gesamt	1	1	9	11

Infraspinatus		OP-Befund		
		intakt	komplett	Gesamt
Sonographie	intakt	8	0	8
	partiell	0	1	1
	komplett	1	1	2
	Gesamt	9	2	11
KST	intakt	9	1	10
	partiell	0	0	0
	komplett	0	1	1
	Gesamt	9	2	11

Subscapularis		OP-Befund		
		intakt	komplett	Gesamt
Sonographie	intakt	8	1	9
	komplett	1	1	2
	Gesamt	9	2	11
KST	intakt	8	1	9
	komplett	1	1	2
	Gesamt	9	2	11

LBS		OP-Befund		
		intakt	komplett	Gesamt
Sonographie	intakt	10	0	10
	komplett	0	1	1
	Gesamt	10	1	11
KST	intakt	10	0	10
	komplett	0	1	1
	Gesamt	10	1	11

Der exakte Test nach Mehta und Patel ergab keine signifikante Übereinstimmung zwischen den sonographischen und kernspintomographischen Ergebnissen und dem OP-Befund ($p > 0,05$).

Die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der jeweiligen Untersuchungsmethode erfolgte nach zwei unterschiedlichen Bewertungskriterien. Der erste Wert wurde ohne Differenzierung der Läsionen in partielle und komplette Rupturen ermittelt, betrachtet demnach lediglich die Aussagekraft der jeweiligen Methode bei der Feststellung einer Ruptur. Dagegen beinhaltet der zweite Wert die Unterscheidung des Rupturausmaßes. Die Ruptur der Bizepssehne ging nicht mit in die Berechnungen ein.

Tabelle 3.6:

	Ohne Differenzierung in part./kompl. Ruptur	Mit Differenzierung in part./kompl. Ruptur
KST	Sensitivität 78,6% Spezifität 89,5%	Sensitivität 64,3% Spezifität 89,5%
Sonographie	Sensitivität 92,9% Spezifität 84,2%	Sensitivität 71,4% Spezifität 84,2%

3.5 Ergebnisse der dynamischen Untersuchung

3.5.1 Humeruskopfhochstand

Ein Subakromialraum von weniger als 6 mm (≤ 5 mm) bezeichnet einen Humeruskopfhochstand. Die Messungen erfolgten anhand der kernspintomographischen Untersuchungen.

Innerhalb des präoperativen Kollektivs wurde bei vier der zwölf Patienten anhand des Subakromialraumes die Diagnose eines Humeruskopfhochstandes gestellt. Dabei betrug der Mittelwert des SAR 3,8mm (Min. 3mm, Max. 4mm) gegenüber einem Mittelwert von 7,1mm ohne Humeruskopfhochstand (Min. 7mm, Max. 8mm). In der Gruppe der 17 postoperativen Patienten zeigte sich in drei Fällen ein Höherentreten des Humeruskopfes (MW 2,7mm; Min 2mm, Max. 4mm). Bei den 14 Patienten dieses Kollektivs ohne Humeruskopfhochstand wurde ein SAR von 8,7mm (Min. 6mm, Max.

13mm) gemessen. Der Mittelwert des SAR der Kontrollgruppe betrug 8,4mm (Min. 6mm, Max. 10mm); ein Humeruskopfhochstand trat nicht auf.

3.5.1.1 Präoperatives Patientenkollektiv und Humeruskopfhochstand

Bei vier der zwölf präoperativ untersuchten Patienten wurde ein Humeruskopfhochstand diagnostiziert.

Tabelle 3.7: Humeruskopfhochstand beim präoperativen Patientenkollektiv und Anzahl der rupturierten Sehnen (intraoperativer Befund)

		Anzahl der rupturierten Sehnen				
		part.	1	2	3	Gesamt
prä-OP	Hochstand					
	-	1	7	0	0	8
	+	0	1	1	2	4
	Gesamt	1	8	1	2	12

p nach der Spearmanschen Rangkorrelation: $p = 0,0039^{**}$

Bei Ruptur von mindestens zwei Sehnen war ein Humeruskopfhochstand festzustellen. Eine Ausnahme stellte ein Patient mit SSP-Ruptur und Humeruskopfhochstand dar. Bei diesem Patienten wurde zusätzlich eine Ruptur der langen Bizepssehne diagnostiziert.

3.5.1.2 Postoperatives Kollektiv und Humeruskopfhochstand

Drei der 17 kernspintomographisch untersuchten Patienten des postoperativen Kollektivs wiesen einen Humeruskopfhochstand auf. In allen drei Fällen handelte es sich um Rupturen mit Beteiligung zweier Sehnen.

Tabelle 3.8: Humeruskopfhochstand beim postoperativen Patientenkollektiv und Anzahl der rerupturierten Sehnen

		Anzahl der rerupturierten Sehnen			
		0	1	2	Gesamt
post-OP	Hochstand				
	>=6mm	11	2	1	14
	<6mm	0	0	3	3
	Gesamt	11	2	4	17

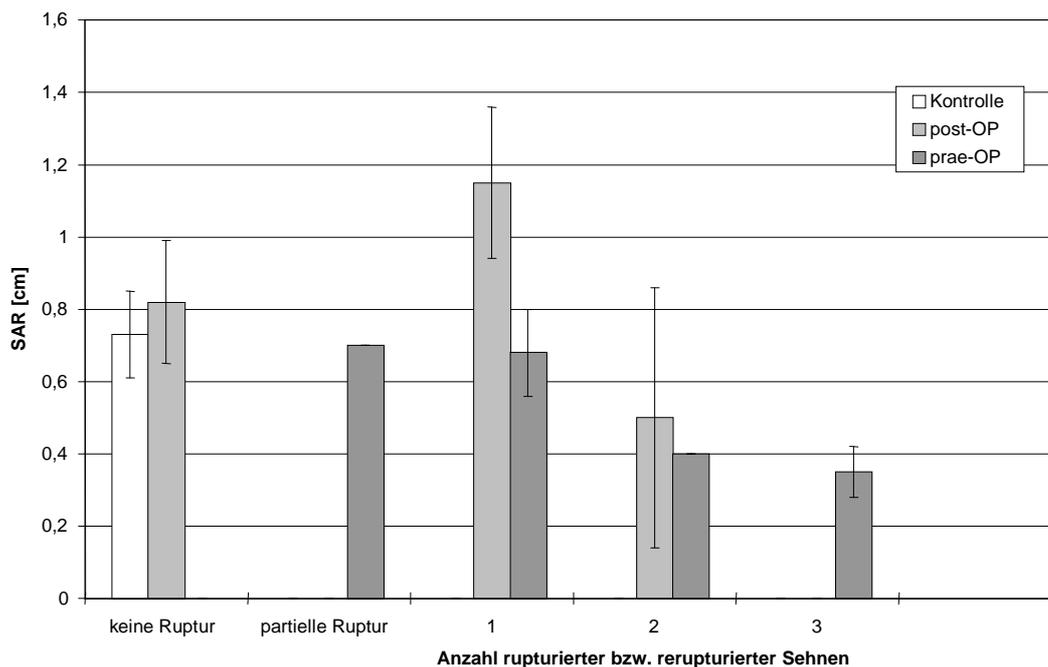
p nach der Spearmanschen Rangkorrelation: $p = 0,0063^{**}$

Der Arthrographie-Befund der drei Patienten mit Humeruskopfhochstand (SAR = 2,7mm; Min.1,2mm, Max.2,0mm) zeigte in allen Fällen eine große Reruptur; bei den Patienten mit kleiner Reruptur (< 1cm) betrug der Mittelwert des SAR 10,7mm (Min. 0,9mm, Max. 1,3mm). Die Patienten mit arthrographisch intakter Manschette wiesen einen SAR von durchschnittlich 8,1mm auf (Min. 6mm, Max. 10mm). Damit unterscheiden sich die bezüglich des Arthrographiebefundes unterteilten Gruppen signifikant hinsichtlich des SAR. (p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse): $p = 0,0091^{**}$).

3.5.1.3 Anzahl der rupturierten bzw. rerupturierten Sehnen und Subakromialraum

Zwischen der Höhe des Subakromialraumes und der Anzahl der rupturierten Sehnen des präoperativen Kollektivs besteht eine gegensinnige Abhängigkeit. Postoperativ ist eine derartige Abhängigkeit nicht zu erkennen. Die Ursache hierfür liegt in der Operationstechnik, welche an die Rotatorenmanschettennaht eine Akromioplastik nach Neer anschließt, durch die der SAR erweitert wird. Dennoch nimmt der SAR in Fällen mit Zwei-Sehnen-Rupturen Werte an, die definitionsgemäß einen Humeruskopfhochstand darstellen.

Diagramm 1: Der Subakromialraum des prä- und postoperativen Kollektivs in Neutralstellung (mit Angabe der Streuung)



p nach der Spearmanschen Rangkorrelation:

prä-OP: n = 12 p = 0,0086**

post-OP: n = 16 p = 0,72

3.5.2 Der Subakromialraum in Abduktion

Folgende Darstellungen enthalten jeweils die Unterteilung des präoperativen Patientenkollektivs nach Anzahl der rupturierten Sehnen. Das postoperative Kollektiv wird nach arthrographischem Befund in Untergruppen mit und ohne Reruptur eingeteilt.

3.5.2.1 Präoperatives Patientenkollektiv

a) SAR ohne Belastung

Tabelle 3.9: Der SAR des präoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung in Abhängigkeit von der Anzahl rupturierter Sehnen (p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse))

		n	Abduktion						
			0-Stellung	Str.	45°	Str.	n	90°	Str.
Anzahl rupt. Sehnen	partielle	1	0,70	-	0,85	-	0	-	-
	1 Sehne	8	0,68	0,12	0,77	0,08	5	0,45	0,06
	>1 Sehne	3	0,37	0,06	0,45	0,13	2	0,60	0,22
Kontrolle		9	0,73	0,12	0,65	0,15	9	0,37	0,13

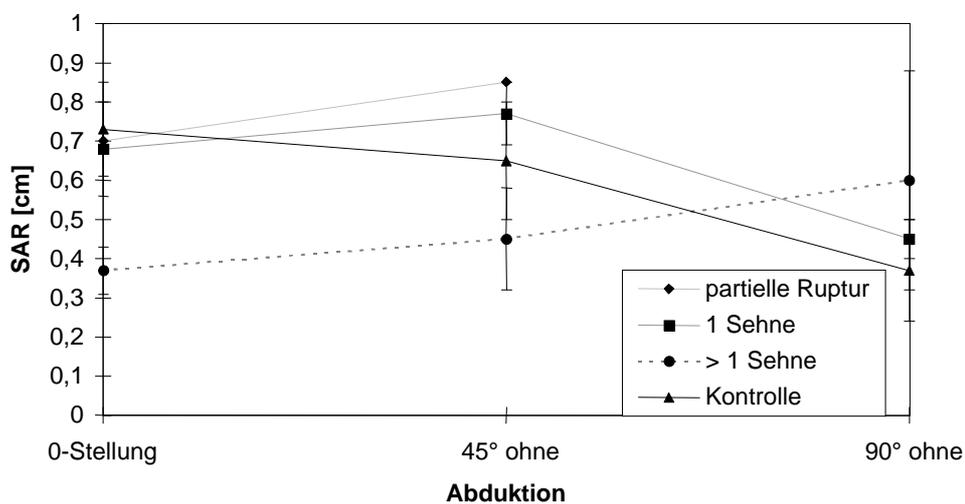
0-Stellung: p= 0,019*

45° Abduktion: p=0,017*

90° Abduktion: p=0,26

In 0° und in 45° ohne Belastung sind die Gruppen bezüglich des SAR signifikant verschieden.

Diagramm 2: Der Subakromialraum des präoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung



b) SAR bei Belastung

Tabelle 3.10: Der SAR des präoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion mit Belastung in Abhängigkeit von der Anzahl rupturierter Sehnen

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

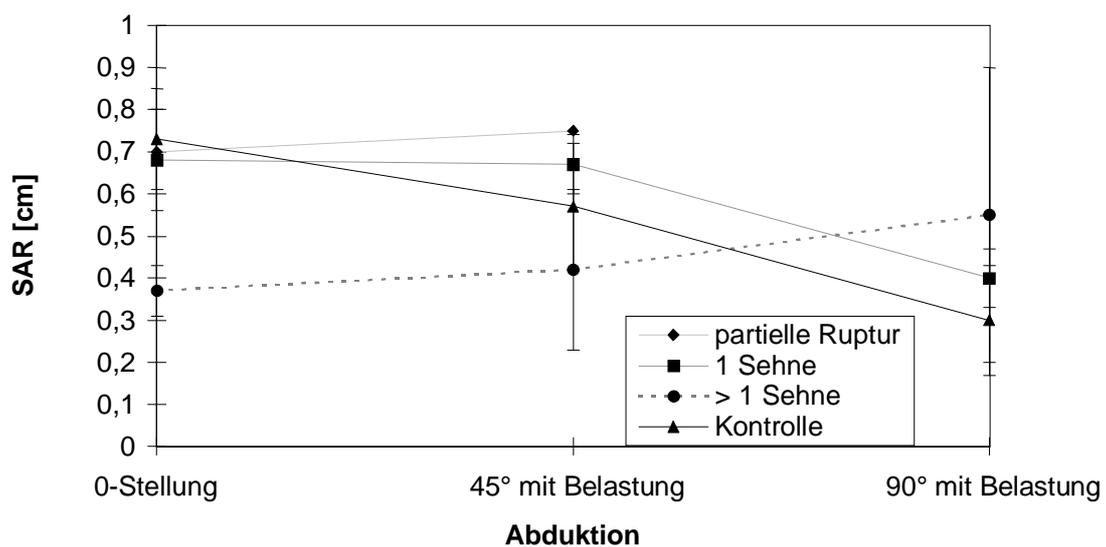
		n	Abduktion				n	90°	
			0-	Str.	45° mit	Str.		Str.	Str.
Anzahl rupt. Sehnen	Partielle	1	0,70	-	0,75	-	0	-	-
	1 Sehne	8	0,68	0,12	0,67	0,07	5	0,40	0,07
	>1 Sehne	3	0,37	0,06	0,42	0,19	2	0,55	0,35
Kontrolle		9	0,73	0,12	0,57	0,21	9	0,30	0,11

0°-Stellung: p=0,019*

45° Abduktion: p=0,10

90° Abduktion: p=0,17

Diagramm 3: Der Subakromialraum des präoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion mit Belastung



c) Abnahme des SAR bei Belastung (Differenz des SAR nach - SAR vor Belastung)

Tabelle 3.11: Abnahme des SAR des präoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion bei Belastung

		Abduktion					
		n	45°	Str.	n	90°	Str.
Anzahl rupt. Sehnen	partielle Ruptur	1	-0,1		0	-	
	1 Sehne	8	-0,09	0,08	5	-0,05	0,07
	> 1 Sehne	3	-0,03	0,06	2	-0,05	0,07
Kontrolle		9	-0,08	0,11	9	-0,07	0,07

3.5.2.2 Postoperatives Patientenkollektiv

Arthrographisch als kleine Reruptur befundene Rotatorenmanschetten werden bei folgenden Betrachtungen zu den intakten Rotatorenmanschetten gezählt, da man davon ausgehen kann, daß es sich bei diesen kleinen Rupturen lediglich um einen operativ nicht wasserdicht verschlossene Defekt handelt, der jedoch biomechanisch keine Auswirkungen hat.

a) SAR ohne Belastung

Tabelle 3.12: Der SAR des postoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

	Abduktion								
	n	0-	Str.	n	45°	Str.	n	90°	Str.
keine Rerupt.	13	0,87	0,19	12	0,77	0,16	13	0,72	0,22
Reruptur	3	0,27	0,12	3	0,23	0,15	3	0,42	0,76
Kontrolle	9	0,73	0,12	9	0,66	0,15	9	0,37	0,13

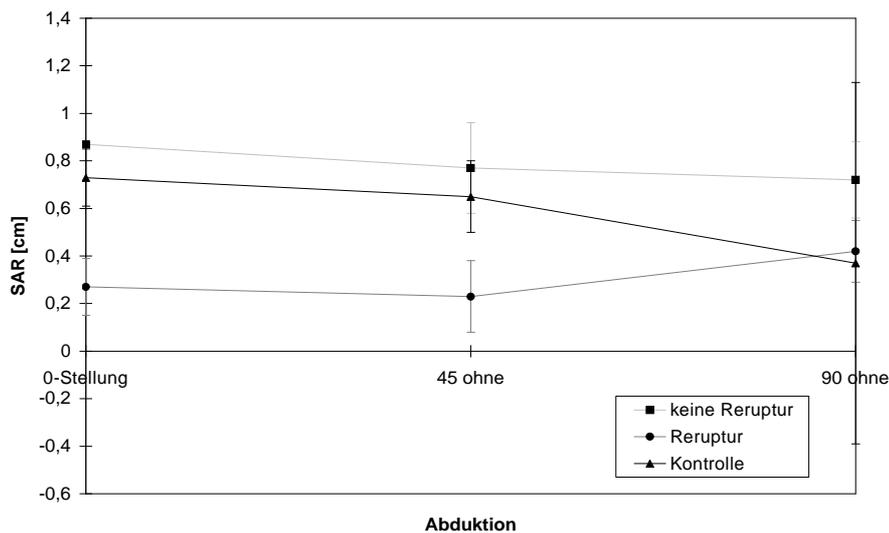
0-Stellung: $p=0,0061^{**}$

45° Abduktion: $p=0,0084^{**}$

90° Abduktion: $p=0,0012^{**}$

Die Untergruppen mit und ohne Reruptur sind bezüglich des SAR signifikant verschieden.

Diagramm 4: Der Subakromialraum des postoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung



b) SAR mit Belastung

Tabelle 3.13: Der SAR des postoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion mit Belastung

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

	Abduktion						
	n	0-Stellung	Str.	45° mit	Str.	90° mit	Str.
keine	12	0,86	0,20	0,70	0,24	0,69	0,16
Reruptur	3	0,27	0,12	0,18	0,13	0,37	0,08
Kontrolle	9	0,73	0,12	0,57	0,11	0,30	0,21

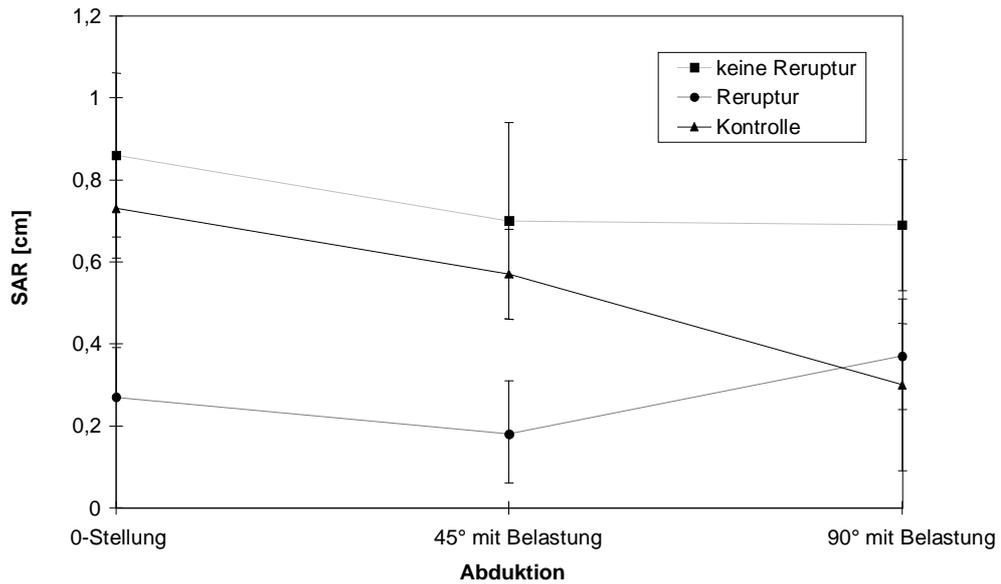
0°- Stellung : p=0,0061**

45° Abduktion: p=0,00049***

90° Abduktion: p=0,015*

Die Untergruppen mit und ohne Reruptur sind bezüglich des SAR in 45° und 90° mit Belastung signifikant verschieden.

Diagramm 5: Der Subakromialraum des postoperativen Patientenkollektivs in 45° und 90° Abduktion mit Belastung



Alle Angaben des SAR in [cm].

c) Abnahme des SAR bei Belastung (Differenz des SAR nach - SAR vor Belastung)

Tabelle 3.14: Abnahme des SAR des postoperativen Patientenkollektivs bei Belastung

		Abduktion				
		n	45°	Str.	90°	Str.
Arthrographischer Befund	Keine Reruptur	12	-0,07	0,11	-0,03	0,08
	Reruptur	3	-0,05	0,09	-0,05	0,07
Kontrolle		9	-0,08	0,11	-0,07	0,07

3.5.3 Anteriore / posteriore Translation des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion bei Belastung

Die Translation in horizontaler Ebene wurde berechnet aus der Differenz der Position des Humeruskopfes auf dem Glenoid in muskulärer Entspannung und bei Belastung. Eine Bewegung des Humeruskopfes in ventraler Richtung wurde als anteriore Translation, eine Bewegung nach dorsal als posteriore Translation bei Belastung bezeichnet.

Die Messungen ergaben sowohl bei den Patientenkollektiven als auch innerhalb der Probandengruppe Werte zwischen maximal +3mm und -3mm (anteriore / posteriore Translation). Dabei waren die Patienten mit anteriorer bzw. posteriorer Translation innerhalb der Untergruppen gleich verteilt.

Tabelle 3.15: Mittelwerte der anterioren bzw. posterioren Translation des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion bei Belastung (präoperatives Kollektiv)

Präoperatives Kollektiv		n	Ant./post. Translation bei Belastung			
			MW	Str.	max.ant.	max.post.
45° bei Belastung	Part.Ruptur	1	-0,1	-	-	-0,1
	1 Sehne	8	0,1	0,15	0,3	-0,1
	>1Sehne	2	0,05	0,15	0,2	-0,1
	Kontrolle	9	0,03	0,10	0,15	-0,15
90° bei Belastung	Part.Ruptur	1	0,0	-	-	-
	1 Sehne	4	0,0	0,10	0,1	-0,1
	>1Sehne	2	0,0	0,0	0,0	0,0
	Kontrolle	9	0,01	0,11	0,2	-0,15

Tabelle 3.16: Mittelwerte der anterioren bzw. posterioren Translation des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion bei Belastung (postoperatives Kollektiv)

Postoperatives Kollektiv		n	Ant./post. Translation bei Belastung			
			MW	Str.	max.ant.	max.post.
45° bei Belastung	Keine Reruptur	13	0,05	0,15	0,3	-0,2
	Reruptur	3	0,07	0,05	0,1	0,0
	Kontrolle	9	0,03	0,10	0,15	-0,15
90° bei Belastung	Keine Reruptur	13	0,06	0,10	0,3	0,0
	Reruptur	3	0,03	0,12	0,2	-0,1
	Kontrolle	9	0,01	0,11	0,2	-0,15

Bezüglich der anterioren / posterioren Translation bestehen zwischen den Untergruppen des prä- und postoperativen Kollektivs weder in 45° noch in 90° Abduktion signifikante Unterschiede (p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse) > 0,05).

3.5.4 Kraniale bzw. kaudale Dezentrierung

3.5.4.1 Anzahl der Patienten/Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Dezentrierung

Folgende Tabellen dienen dazu, einen Überblick über die Gesamtheit der untersuchten Personen bezüglich einer Dezentrierung in Abduktion und einer Translation bei zusätzlicher Belastung zu geben.

Tabelle 3.17: Anzahl der Patienten / Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Dezentrierung in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung

	Dezentrierung				prä-OP			post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	part. Rupt	1 S.	> 1 S.	Keine Rerupt	Rerupt	
45°	kranial	13 = 36%	0,27	0,14	1	0	3	3	3	3
Abd.	kaudal	10 = 28%	-0,12	0,06	0	5	0	2	0	3
ohne	keine	13 = 36%	0	-	0	3	0	7	0	3
Ges.		36 = 100%			1	8	3	12	3	9

	Dezentrierung				prä-OP		post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	1 S.	> 1 S.	Keine Rerupt	Rerupt	
90°	kranial	13 = 42%	0,17	0,07	2	1	2	3	5
Abd.	kaudal	4 = 13%	-0,11	0,03	1	0	0	0	3
ohne	keine	14 = 45%	0	-	2	1	10	0	1
Ges.		31 = 100%			5	2	12	3	9

Tabelle 3.18: Anzahl der Patienten / Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Dezentrierung in 45° und 90° Abduktion mit Belastung

	Dezentrierung				prä-OP			post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	part. Rupt.	1 S.	> 1 S.	keine Rerupt.	Rerupt	
45° Abd. mit	kranial	20 = 56%	0,26	0,17	1	3	3	5	3	5
	kaudal	3 = 8%	-0,1	0,0	0	1	0	1	0	1
	keine	13 = 36%	0	-	0	4	0	6	0	3
Ges.		36 = 100%			1	8	3	12	3	9

	Dezentrierung				Prä-OP		post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	1 S.	> 1 S.	keine Rerupt.	Rerupt	
90° Abd. mit	kranial	17 = 57%	0,16	0,09	2	1	4	3	7
	kaudal	4 = 13%	-0,14	0,05	1	0	2	0	1
	keine	9 = 30%	0	-	1	1	6	0	1
Ges.		30 = 100%			4	2	12	3	9

Tabelle 3.19: Anzahl der Patienten / Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Translation in 45° bei Belastung (Differenz: Dezentrierung mit Belastung - Dezentrierung ohne Belastung)

	Dezentrierung				prä-OP			post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	Part. Rupt.	1 S.	> 1 S.	keine Rerupt	Rerupt	
45° Abd. ohne- mit	kranial	17 = 47%	0,16	0,11	0	5	2	5	0	5
	kaudal	3 = 8%	-0,1	0,0	0	0	0	1	0	2
	keine	16 = 45%	0	-	1	3	1	6	3	2
Gesamt		36 = 100%			1	8	3	12	3	9

Tabelle 3.20: Anzahl der Patienten / Probanden mit kranialer bzw. kaudaler Translation in 90° bei Belastung (Differenz: Dezentrierung mit Belastung - Dezentrierung ohne Belastung)

	Dezentrierung				Prä-OP		post-OP		Kontr
	Richtung	n	MW	Str.	1 S.	> 1 S.	keine Reruptur	Reruptur	
90° Abd. ohne-mit	kranial	7 = 23%	0,15	0,08	2	0	2	0	3
	kaudal	4 = 13%	-0,11	0,06	0	1	2	0	1
	keine	19 = 64%	0	-	2	1	8	3	5
Gesamt		30 = 100%			4	2	12	3	9

3.5.4.2 Position des Humeruskopfes in Abhängigkeit von der Integrität der Rotatorenmanschette

Eine Dezentrierung bzw. Translation in kaudaler Richtung wird als negativer Wert angegeben, in kranialer Richtung als positiver Wert.

3.5.4.2.1 Präoperatives Patientenkollektiv

a) Dezentrierung ohne Belastung

Tabelle 3.21: Dezentrierung des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion ohne Belastung

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

		n	Dezentrierung ohne Belastung				p
			MW	Str.	max. kaudal	max. kranial	
45° ohne Belastung	part. Ruptur	1	0,1	-	-	0,1	0,011*
	1 Sehne	8	-0,06	0,05	-0,10	0,0	
	> 1 Sehne	3	0,27	0,10	0,15	0,35	
	Kontrolle	9	0,03	0,13	-0,10	0,25	
90° ohne Belastung	1 Sehne	5	0,03	0,13	-0,15	0,2	0,79
	> 1 Sehne	2	0,10	0,14	0,0	0,2	
	Kontrolle	9	0,05	0,14	-0,10	0,3	

Diagramm 6: Kaudale (-) bzw. kraniale (+) Dezentrierung in 45° Abduktion ohne Belastung (prä-OP)

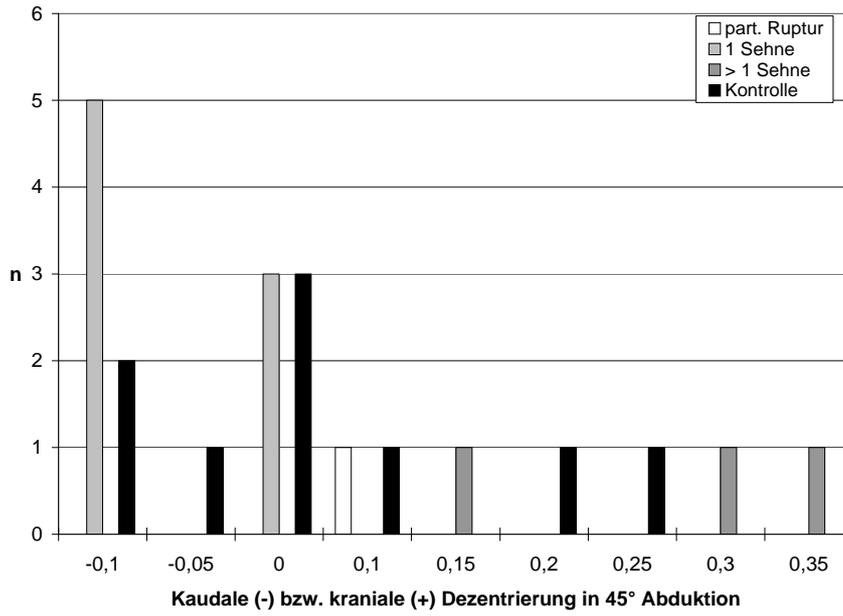
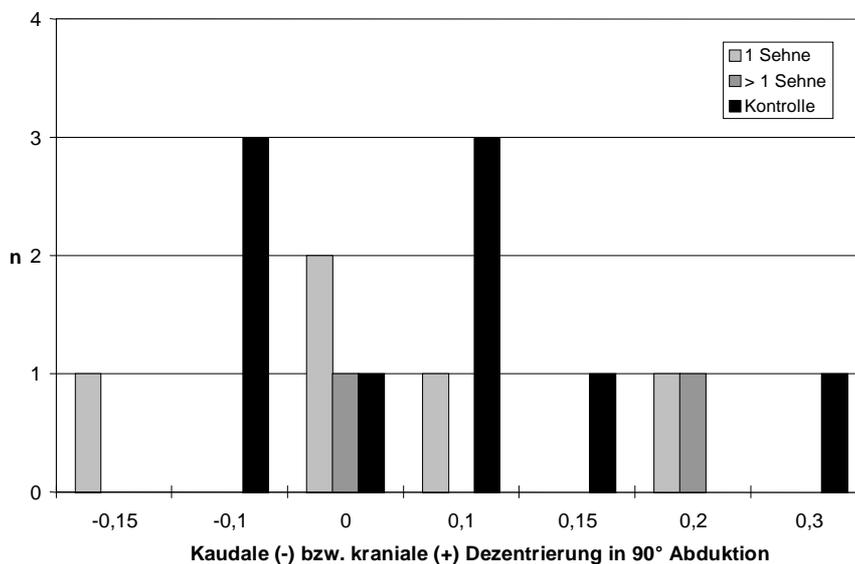


Diagramm 7: Kaudale (-) bzw. kraniale Dezentrierung in 90° Abduktion ohne Belastung (prä-OP)



c) Translation bei Belastung

Die Translationsbewegung, die der Humeruskopf bei Belastung durchführt, entspricht der Differenz: Dezentrierung bei Belastung - Dezentrierung ohne Belastung

Positive Werte bedeuten eine kraniale, negative eine kaudale Translation bei Belastung.

Tabelle 3.22: Zusätzliche Translation des Humeruskopfes bei Belastung in 45° und 90° Abduktion (prä-OP)

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

		n	Translation bei Belastung				p
			MW	Str.	max. kaudal	max. kranial	
45° bei Belastung	part. Ruptur	1	0,0	-	0,0	0,0	0,57
	1 Sehne	8	0,09	0,08	0,0	0,2	
	> 1 Sehne	3	0,06	0,05	0,0	0,1	
	Kontrolle	9	0,05	0,11	-0,1	0,2	
90° bei Belastung	1 Sehne	4	0,05	0,06	0,0	0,1	0,24
	> 1 Sehne	2	-0,05	0,07	-0,1	0,0	
	Kontrolle	9	0,04	0,08	-0,05	0,2	

Diagramm 8: Zusätzliche Translation in kaudaler (-) bzw. kranialer (+) Richtung bei Belastung in 45° Abduktion (prä-OP)

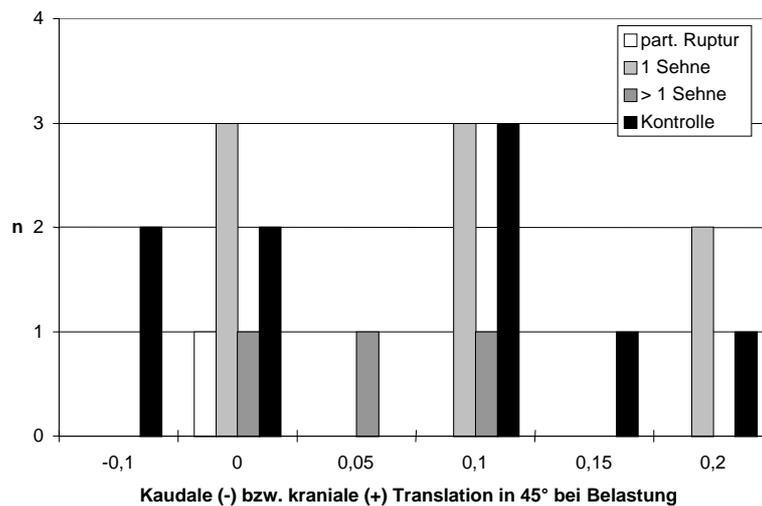
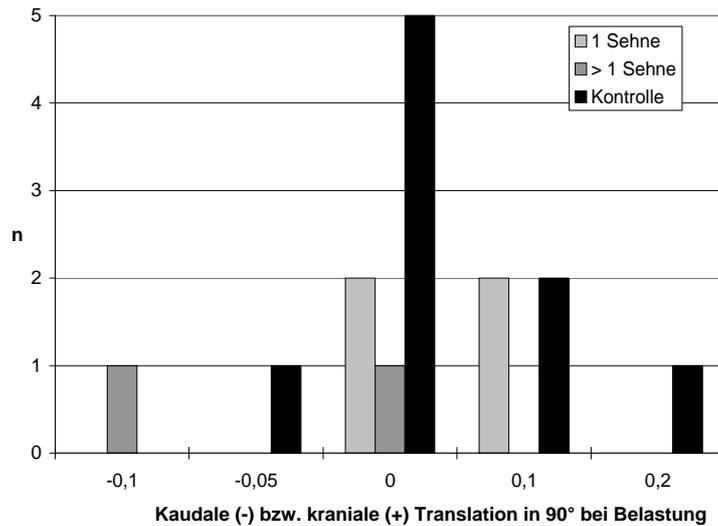


Diagramm 9: Zusätzliche Translation in kaudaler (-) bzw. kranialer (+) Richtung bei Belastung in 90° Abduktion (prä-OP)



3.5.4.2.2 Postoperatives Patientenkollektiv

a) Dezentrierung ohne Belastung

Tabelle 3.23: Dezentrierung des Humeruskopfes in 45° und 90° ohne Belastung

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

		n	Dezentrierung				p
			MW	Str.	max. kaudal	max. kranial	
45° ohne Belastung	Keine Reruptur	12	0,04	0,1 9	-0,25	0,5	0,028*
	Reruptur	3	0,42	0,1 6	0,3	0,6	
	Kontrolle	9	0,03	0,1 3	-0,1	0,25	
90° ohne Belastung	Keine Reruptur	12	0,04	0,1 0	0,0	0,3	0,24
	Reruptur	3	0,13	0,0 6	0,1	0,2	
	Kontrolle	9	0,05	0,1 4	-0,1	0,3	

In der Gruppe der Rerupturen trat keine Translation nach kaudal auf; deshalb wurde die minimale kraniale Translation angegeben.

Diagramm 10: Kaudale (-) bzw. kraniale (+) Dezentrierung in 45° Abduktion ohne Belastung (post-OP)

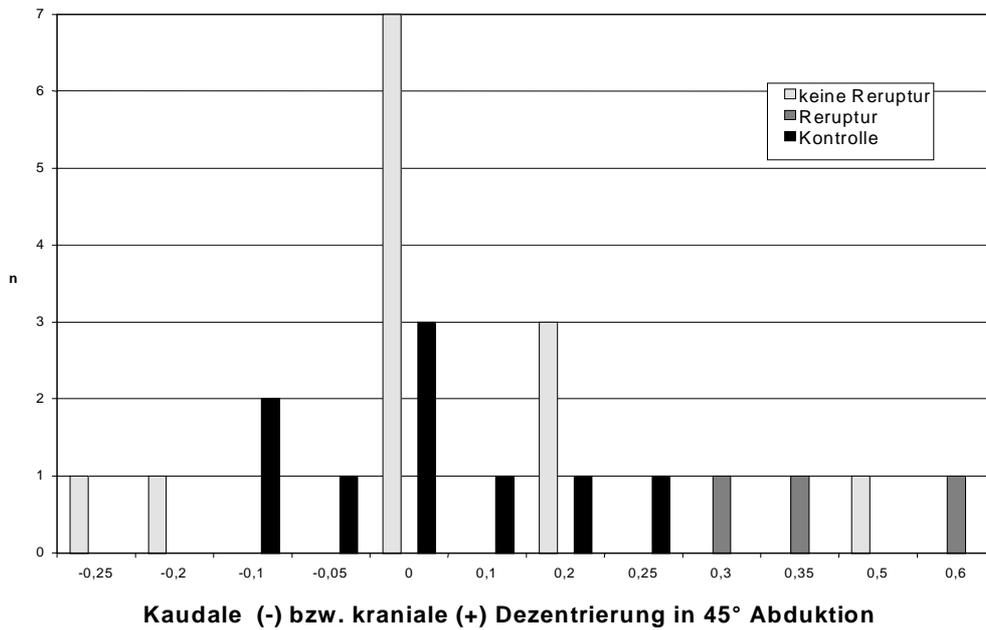
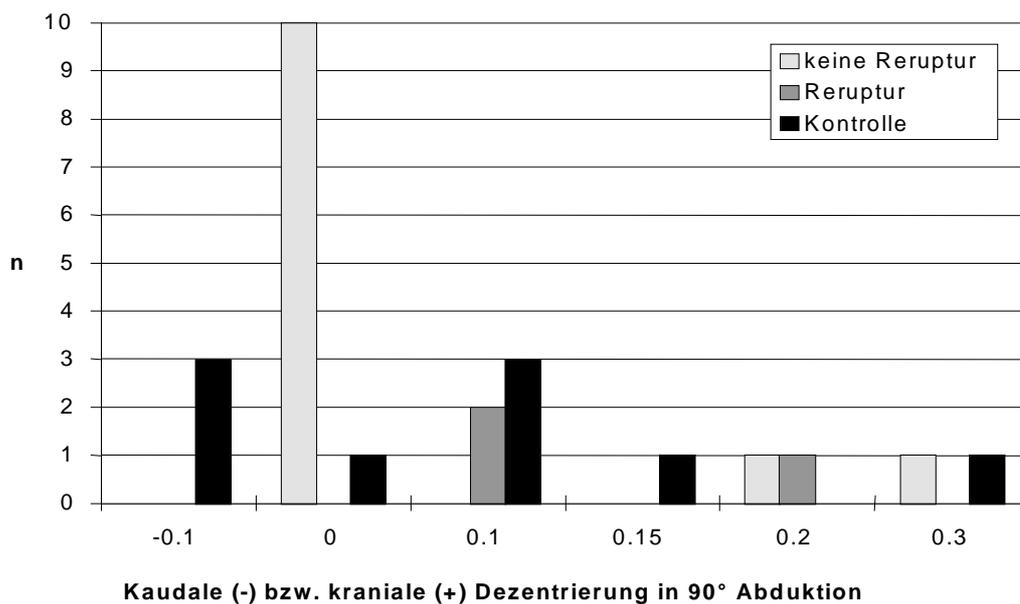


Diagramm 11: Kaudale (-) bzw. kraniale (+) Dezentrierung in 90° Abduktion ohne Belastung (post-OP)



b) Translation bei Belastung

Tabelle 3.24: Zusätzliche Translation des Humeruskopfes in 45° und 90° Abduktion bei Belastung

p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse)

		n	Translation bei Belastung				p
			MW	Str.	max. kaudal	max. kranial	
45° bei Belastung	keine Reruptur	12	0,10	0,17	-0,1	0,5	0,59
	Reruptur	3	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Kontrolle	9	0,05	0,11	-0,1	0,2	
90° bei Belastung	keine Reruptur	12	0,01	0,12	-0,2	0,3	0,69
	Reruptur	3	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Kontrolle	9	0,04	0,08	-0,05	0,2	

Diagramm 12: Zusätzliche Translation bei Belastung in 45° Abduktion (post-OP)

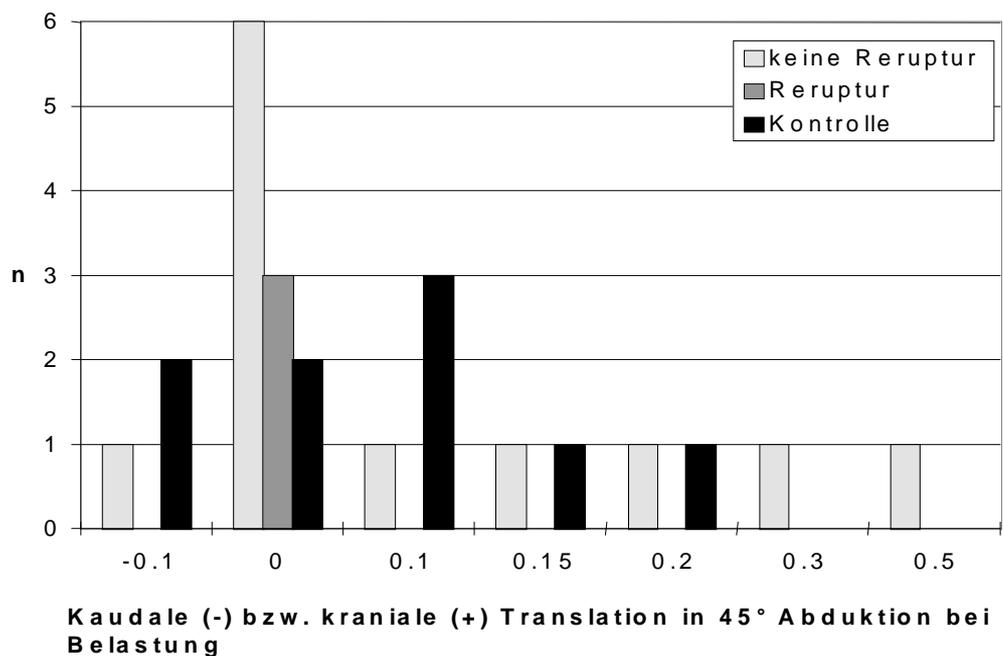
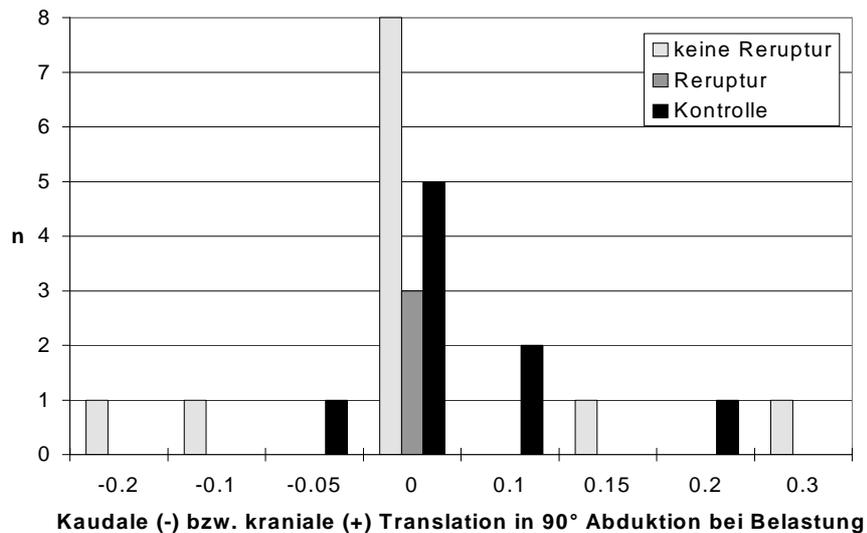


Diagramm 13: Zusätzliche Translation bei Belastung in 90° Abduktion (post-OP)



3.5.4.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der kranialen / kaudalen Dezentrierung

Das Kontrollkollektiv weist in 45° Abduktion ohne Belastung jeweils die gleiche Anzahl von Probanden mit nach kranial und kaudal dezentriertem sowie mit zentriertem Humeruskopf auf. Sowohl bei weiterer Abduktion zu 90° als auch bei zusätzlicher Belastung zeigt sich eine Tendenz zur Kranialisierung des Humeruskopfes.

Innerhalb des präoperativen Kollektivs besteht eine kraniale Dezentrierung der gesamten Gruppe der Patienten mit Mehr-Sehnen-Rupturen in 45° ohne und mit Belastung. Die mittlere Dezentrierung dieser Gruppe unterscheidet sich signifikant ($p=0,011$) von der der übrigen präoperativen Patienten und des Kontrollkollektivs. Auch in 90° ist die Dezentrierung deutlich, aber nicht signifikant höher. In dieser Abduktionsstellung findet bei einem Patienten eine Zentrierung und damit eine Zunahme des SAR statt, die auch bei zusätzlicher Belastung bestehen bleibt.

Innerhalb des präoperativen Kollektivs führt die Belastung tendenziell zu einer diskreten Zunahme der kranialen Dezentrierung in beiden Abduktionsstellungen. Dabei besteht kein signifikanter Unterschied zwischen den Untergruppen.

Bei den Patienten des postoperativen Kollektivs hebt sich die Untergruppe der Rerupturen von den übrigen Patienten und Probanden ab. In beiden Abduktionsstellungen zeigt sich eine deutliche, in 45° eine signifikante ($p=0,028$) kraniale Dezentrierung. Eine zusätzliche Translation bei Belastung findet in keinem Fall statt. Auch in dieser Gruppe nimmt der SAR eines Patienten in 90° Abduktion zu; in gleichem Maße nimmt das Ausmaß der kranialen Dezentrierung ab, wobei sich der Humeruskopf in 90° Abduktion immer noch kranial der Glenoidmitte befindet.

Die Gruppe der Patienten ohne Reruptur zeigt unter Belastung in mindestens 50% keine zusätzlich Translation (6 von 12 in 45°, 8 von 12 in 90° Abduktion), bei den restlichen Patienten ist jedoch eine Translation mit großer Streubreite zu erkennen.

3.6. Constant - Score

3.6.1 Präoperatives Patientenkollektiv

Der Constant-Score wurde bei 8 der 12 Patienten des präoperativen Kollektivs erhoben. Der Mittelwert betrug 55,9 % (20,6% bis 92,4%). Der Constant-Score in Abhängigkeit von der Anzahl der rupturierten Sehnen ist in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 3.25: Der Constant-Score des präoperativen Kollektivs in Abhängigkeit von der Anzahl der rupturierten Sehnen

		Constant-Score				
		n	MW	Streuung	Min.	Max.
Anzahl rupturierter Sehnen	part. Ruptur	1	67,1	-	-	-
	1 Sehne	6	57,2	29,3	20,6	92,4
	> 1 Sehne	1	37,4	-	-	-

Die Untergruppen unterscheiden sich bezüglich des Constant-Scores nicht signifikant (p nach dem Kruskal-Wallis-H-Test (Rangvarianzanalyse): $p = 0,70$).

Zwischen dem Constant-Score und der Anzahl der rupturierten Sehnen besteht keine Abhängigkeit (p nach dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient: $p = 0,44$).

3.6.2 Postoperatives Patientenkollektiv

Bei 15 der 18 Patienten des postoperativen Kollektivs wurde der Constant-Score zum Zeitpunkt der zweiten Nachuntersuchung erhoben (durchschnittlich 73 Wochen postoperativ). Der Mittelwert beträgt 73,7% (26,6% bis 103,6%). In Abhängigkeit vom arthrographischen Befund, wobei nur die arthrographisch große Ruptur als Reruptur gewertet wird, erhält man folgende Werte:

Tabelle 3.26: Der Constant-Score des postoperativen Kollektivs in Abhängigkeit von dem arthrographischen Befund

p nach dem U-Test von Mann und Whitney: $p = 0,18$ (d.h. die Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant).

		Constant-Score				
		n	MW	Streuung	Min.	Max.
arthrograph. Befund	keine Reruptur	11	80,1	21,5	26,6	103,6
	Reruptur	4	56,0	26,1	33,9	87,9

Zwischen dem Constant-Score und der Anzahl der rerupturierten Sehnen besteht keine Abhängigkeit (p nach dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient: $p = 0,72$).

Ebenso läßt sich keine Abhängigkeit zwischen dem Constant-Score und dem arthrographischen Befund feststellen (p nach dem Spearmanschen Rangkorrelationskoeffizient: $p = 0,31$).

4. Diskussion

4.1 Patientengut

Das Durchschnittsalter der Patienten des präoperativen (53,8 Jahre) sowie des postoperativen Kollektivs (55,2 Jahre) entspricht dem anderer Studien, deren Thema RM-Rupturen darstellen (Norwood et al., 1989; Packer et al., 1983).

4.2 Die bildgebenden Verfahren

4.2.1 Die Arthrographie

Die ersten Studien über Schulterarthrographie erschienen 1933. Oberholzer (1933) und Frostad (1942) benützten Luft als einziges Kontrastmittel (Ghelman and Goldman, 1977). Knut Lindblom führte 1939 die Verwendung eines positiven Kontrastmittel ein (Lindblom, 1939). Die Kombination eines positiven wasserlöslichen mit dem negativen Kontrastmittel Luft im Jahre 1942 (Eichner, 1985) brachte entscheidende Fortschritte, da neben der Diagnose kompletter Rupturen der Rotatorenmanschette auch Aussagen über partielle artikulärseitige Rupturen, die Größe des Defekts sowie die Beschaffenheit der die Ruptur umgebenden Sehnenränder getroffen werden konnten. Seitdem erwies sich die Doppelkontrastarthrographie als eine Methode hoher Sensitivität und Spezifität in der Diagnose von Rotatorenmanschettenrupturen. Dies zeigt sich anhand der Ergebnisse folgender Studien:

Tabelle 4.1: Sensitivität und Spezifität der Schulterarthrographie

Autor	n	Sensitivität	Spezifität	Accuracy	Referenz- methode
Soble et al 1989	30	87	100	keine Angabe	Operation
Burk et al. 1989	16	92	100	94	Operation
Mack et al. 1985	41	100	90	98	Operation
Zlatkin et al. 1989	24	71	71	keine Angabe	Operation

Seit langem ist die Arthrographie nicht mehr das Mittel der Wahl bei der Diagnostik von Rotatorenmanschetten-Läsionen. Zur Anwendung kommt sie heute fast nur noch bei der Diagnostik der Frozen shoulder und RM-Rupturen, wenn MRT oder Sonographie nicht zur Verfügung stehen. Als invasive Methode birgt sie ein geringes Risiko der Infektion und der allergischen Reaktion. Die Strahlenbelastung kann bei der hier angewandten Methode als unbedeutend angesehen werden. Im Anschluß an die Untersuchung kann bei den Patienten eine kurzzeitige Aggravation der Symptome auftreten (Hall et al., 1981). Durch die Zugabe von Lokalanästhetikum zu dem Kontrastmittel, wie in vorliegender Studie, läßt sich die Inzidenz dieser vorübergehenden Beschwerden senken.

In vorliegender Studie dient die Arthrographie der Evaluation der operierten Rotatorenmanschette. Die Untersuchung fand durchschnittlich 72,8 Wochen (56,5 – 151,0) nach dem chirurgischen Eingriff im Anschluß an die Kernspintomographie statt. Der Austritt von Kontrastmittel in die Bursa subacromialis bzw. subdeltoidea stellte das diagnostische Kriterium dar. Bei vier der 17 arthrographierten Patienten verteilte sich das Kontrastmittel direkt im Anschluß an die Injektion breitflächig in der Bursa. Hier wurde die Diagnose einer Reruptur gestellt.

Bei weiteren drei Patienten fand ebenfalls ein Kontrastmittelaustritt statt, der sich jedoch auf eine winzige Durchtrittsöffnung beschränkte, so daß in diesen Fällen keine Ruptur diagnostiziert wurde, sondern lediglich eine operativ nicht wasserdicht verschlossene Manschette.

Blauth und Gärtner untersuchten 1991 die Korrelation zwischen den Ergebnissen postoperativer Arthrographien und dem Beschwerdebild der Patienten. Die Untersuchung ergab, daß anhand des arthrographischen Befundes keine Rückschlüsse auf das postoperative klinische Ergebnis gezogen werden können. Anzuführen ist, daß laut o.g. Untersuchung die grobe Kraft der Patienten mit „undichter Manschette“ geringfügig herabgesetzt war. Calvert und Packer stellten 1986 in einer Studie anhand zwanzig postoperativer Arthrographien fest, ein wasserdichter Verschuß der Rotatorenmanschette sei für das klinische Ergebnis unbedeutend. Nach genannter Studie stehe auch die Größe des Defekts nicht im Zusammenhang mit der subjektiven und objektiven Verbesserung der Symptome. Entscheidender sei eine spannungsfreie Rekonstruktion der Manschette in Verbindung mit einer suffizienten subakromialen Dekompression.

In vorliegender Studie wurde dagegen nicht primär versucht, einen Zusammenhang zwischen Klinik und arthrographischem Befund zu finden. In Übereinstimmung mit der

Literatur zeigte sich keine Abhängigkeit zwischen dem Constant-Score und dem arthrographischen Ergebnis, worauf jedoch an anderer Stelle eingegangen wird. Es wurde vielmehr die arthrographische Untersuchung als Diagnostikum einer postoperativen Reruptur verwandt. Da sich die Größe eines Defekts der Rotatorenmanschette mittels Arthrographie darstellen läßt (Ghelman and Goldman, 1977; Ghelman and Goldman, 1978; Goldman et al., 1982), betrachten es die Untersucher dieser Studie als zulässig, anhand der Breite des Kontrastmitteldurchtritts zwischen einer undichten Manschette und einer Reruptur zu unterscheiden.

4.2.2 Die Sonographie

In der Diagnostik des Schulterschmerzes, insbesondere der Rotatorenmanschettenrupturen, hat die Sonographie in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Relativ niedrige Kosten, schnelle Durchführbarkeit sowie eine geringe Belastung des Patienten während der Untersuchung sind nur einige Vorteile der Sonographie. Zum Vergleich der kranken mit der gesunden Schulter kann die Gegenseite ohne erheblichen Mehraufwand mituntersucht werden. Die Sonographie bietet mit dem real-time Verfahren die Möglichkeit einer dynamischen Untersuchung, so daß die Rotatorenmanschette nicht nur statisch, sondern auch in ihrer Funktion dargestellt werden kann. Die Einführung standardisierter Schnittebenen erlaubt die Reproduzierbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Allerdings ist die Verlässlichkeit der Diagnose in großem Maße abhängig von der Erfahrung des Untersuchers. Die Tatsache, daß hinter knöchernen Strukturen gelegene Weichteile sich mittels Ultraschall nicht darstellen lassen, hat bei der Diagnose von Rotatorenmanschettenrupturen kaum Bedeutung, da 95 % der Läsionen den distalen Bereich der Supraspinatussehne betreffen (Milbradt und Rosenthal, 1988), und auch die übrige Manschette meist nahe ihres Ansatzes rupturiert ist. Die betreffenden Stellen können im Normalfall ohne Schwierigkeiten mit dem Schallkopf beurteilt werden.

4.2.2.1 Bewertungskriterien

Die präoperativen und postoperativen Untersuchungsergebnisse werden im Folgenden getrennt betrachtet.

a) präoperative Sonographie

Die in vorliegender Studie verwendeten sonographischen Rupturzeichen wurden 1996 von Gohlke und Müller beschrieben und stimmen weitgehend mit den Kriterien anderer Autoren überein (Soble et al. 1989, Rapf, Furtschegger und Resch, 1986; Mack et al., 1985; Milbradt und Rosenthal, 1988). Demnach gelten Konturveränderungen wie z.B. eine fokale Ausdünnung, eine deutliche Abflachung oder das vollständige Fehlen des Sehnenreflexes (sog. "Humeruskopfglatze"), dargestellt in zwei senkrecht zueinander stehenden Schnittebenen, als sichere Zeichen eines Defektes. Veränderungen der Echogenität, die nicht den gesamten Querschnitt der Sehne betreffen, weisen häufig auf Partialdefekte hin und gelten als unsicheres Zeichen. Dabei können je nach Lokalisation des Befundes artikulärseitige, bursalseitige und intratendinöse Defekte unterschieden werden. Die Interpretation derartiger Befunde ist in hohem Maße abhängig von der Erfahrung des Untersuchers.

Bei der Beurteilung des präoperativen Patientenkollektivs wurde im Falle einer Ruptur zwischen einer partiellen und einer kompletten Ruptur unterschieden.

Nach ihrer Lokalisation fand eine Einteilung in Rupturen der Supraspinatus, Infraspinatus- oder Subscapularissehne statt. Die Sehne des M.teres minor, die einen Teil der Rotatorenmanschette darstellt, war in keinem Fall rupturiert. Zusätzlich wurden noch Angaben zum Zustand der langen Bizepssehne gemacht, die nur in einem Fall komplett rupturiert war.

Die Verifizierung der sonographischen Ergebnisse erfolgte intraoperativ.

b) postoperative Sonographie

Die postoperative Rotatorenmanschette ist sonographisch nach anderen Kriterien zu beurteilen. Im Vergleich zur Gegenseite ist die Sehne in ihrem gesamten Verlauf, besonders aber ansatznah, durch die operative Bildung einer Nut abgeflacht (Gohlke, Müller 1996). In einer Studie von Crass (1986) beschreibt dieser bei keinem der vierzig postoperativ untersuchten Patienten ein sonographisch unauffälliges Bild der Rotatorenmanschette. Erhöhte Echogenität, undeutliche Abgrenzbarkeit der Sehnen, verdickte sowie verdünnte Sehnen in der sonographischen Beurteilung rekonstruierter Rotatorenmanschetten sind als normal zu bewerten und treten in keinem Zusammenhang mit dem klinischen Untersuchungsergebnis auf (Cammerer et al. 1992). Als einziges sicheres Kriterium einer Reruptur gilt die fehlende Darstellbarkeit der Sehne.

Im Falle einer Reruptur wurde die betroffene Sehne angegeben. Im Folgenden wurde jedoch im Unterschied zum präoperativen Kollektiv lediglich eine Einteilung in die Untergruppen "keine Reruptur" und "Reruptur" vorgenommen, um ausreichende Fallzahlen der einzelnen Untergruppen zu gewährleisten.

4.2.2.2 Sensitivität und Spezifität der Sonographie

4.2.2.2.1 Präoperatives Patientenkollektiv

a) Ergebnisse anderer Autoren

Die Sensitivität und Spezifität der präoperativen Sonographie in der Diagnostik von Rotatorenmanschettenrupturen wurde bereits in zahlreichen Studien untersucht.

Tabelle 4.2:

Autor	n	Sensitivität in %	Spezifität in %	Accuracy in %	Referenz- methode
Bretzke et al. 1984	19	100	50		Operation
Craig et al. 1984	52	96	80		Operation
Middleton et al. 1985	38	93	83		Arthrographie
Soble et al. 1989	75	92	84	87	Arthrographie
Soble et al. 1989	30	93	73	83	Operation
Mack et al. 1985	47	91	100	94	Operation
Mack et al. 1988	141	91	98	95	Operation
Drakeford et al. 1988	50	92	95		Arthrographie
Burk et al. 1989	10	63	50		Operation
Hedtmann et al. 1995	1227	95,3	92,8	94,9	Operation
Sperner 1993	375	91	89	90	Operation
Sperner 1996	269	98			Operation

Aus den Ergebnissen der aufgeführten Studien ist ersichtlich, daß die Sonographie eine durchaus zuverlässige Methode in der präoperativen Diagnostik von Rotatorenmanschetten ist. Die geringe Aussagekraft in der Studie von Burk et al. 1989 ist möglicherweise auf die niedrige Fallzahl zurückzuführen, ebenso handelt es sich in der Studie von Bretzke et al. 1984 bei der Berechnung der Spezifität lediglich um zwei Patienten, wobei in einem Fall falsch positiv befundet worden war.

a) Ergebnisse vorliegender Studie

11 der 12 präoperativen sonographischen Untersuchungsergebnisse wurden mit intraoperativen Befunden verglichen.

Bei der Diagnose einer Läsion der Rotatorenmanschette mit Bezeichnung der Lokalisation betrug die Sensitivität der Sonographie 92,9%. Damit stimmt die Aussagekraft mit den Ergebnissen oben genannter Studien überein. Nach Differenzierung der Läsion in partielle und komplette Rupturen erniedrigte sich die Sensitivität auf 71,4%. Das Diagnosekriterium einer partiellen Ruptur stellt eine lokale Veränderung der Echogenität dar, welche nicht den gesamten Querschnitt der Sehne einnimmt. Verschiedene Phänomene können das Bild einer partiellen Ruptur auch beim Gesunden vortäuschen. So führt zum Beispiel eine Neigung des Schallwinkels von mehr als 3° aus der Senkrechten gegenüber dem Verlauf der Kollagenfaserbündel zu einem pathologisch erscheinenden Reflexmuster (Harland, 1988; Gohlke und Müller, 1996). Auch entzündlich verändertes Sehnengewebe innerhalb einer intakten Sehne kann mit einer partiellen Ruptur verwechselt werden. In vorliegender Studie wurde operativ eine partielle Ruptur im Bereich der Supraspinatussehne diagnostiziert, welche sonographisch als komplette Ruptur beschrieben worden war. In zwei weiteren Fällen zeigte die Ultraschalluntersuchung das Bild einer partiellen Ruptur, wobei diese sich intraoperativ als eine intakte und eine komplett rupturierte Manschette darstellen ließen. Demnach liegt die Schwierigkeit der sonographischen Diagnostik nicht in der Darstellung einer Läsion, sondern vielmehr in der genauen Abgrenzung des Rupturausmaßes.

Auch die errechnete Spezifität liegt mit 84,2% im Bereich derer anderer Untersuchungen.

4.2.2.2 Postoperatives Patientenkollektiv

a) Ergebnisse anderer Autoren

Die Aussagekraft der postoperativen Sonographie ist in folgender Tabelle aufgeführt.

Tabelle 4.3:

Autor	n	Sensitivität	Spezifität	Accuracy
Crass et al. 1986	10	85	100	90
Mack et al. 1988	27	100	90	98

Die Anzahl der Studien ist limitiert, da eine bereits rekonstruierte Rotatorenmanschette auch im Falle einer Reruptur selten operativ revidiert wird. In beiden genannten Studien handelt es sich um Patienten, die sich einer zweiten Operation unterzogen. Somit konnte ein Vergleich der sonographischen mit den operativen Ergebnissen getroffen werden.

b) Ergebnisse vorliegender Studie

Die Schwierigkeit der Auswertung der postoperativen Untersuchungsergebnisse bestand darin, daß der Befund der bildgebenden Verfahren nicht während einer darauffolgenden Operation verifiziert werden konnte. Daher wurde ein Konsens aus den Ergebnissen der drei Untersuchungsverfahren als Referenz gebildet.

Alle arthrographisch als rerupturiert diagnostizierten Rotatorenmanschetten wurden mittels Sonographie als solche erkannt. In drei Fällen trat ein minimaler Kontrastmittelaustritt auf, der von dem befundenden Radiologen als „operativ nicht wasserdicht verschlossene Manschette,“ bezeichnet wurde. Diese wurden als sonographisch intakt beschrieben.

Zieht man oben genannte sonographische Bewertungskriterien einer postoperativen Rotatorenmanschette in Betracht, so wird verständlich, daß lediglich Veränderungen größeren Ausmaßes sicher als Reruptur erkannt werden.

4.2.3 Die Kernspintomographie

Nicht nur in der Diagnostik der Schulter hat sich die Kernspintomographie als herausragendes bildgebendes Verfahren erwiesen. Im Gegensatz zur Sonographie, Arthrographie oder dem konventionellen Röntgenbild bietet die Kernspintomographie die Möglichkeit, das knöcherne Skelett und den umgebenden Weichteilmantel gleichzeitig zu beurteilen. Der Untersucher hat die Option, Schnittbilder in jeder beliebigen Ebene zu erstellen, was zum Beispiel die detaillierte Betrachtung der Sehnenansätze ermöglicht. Die Kernspintomographie ist ein nicht invasives Verfahren. Als weiterer Vorteil gegenüber der Computertomographie ist die fehlende Strahlenbelastung zu nennen.

Hohe Kosten und lange Untersuchungszeiten werden häufig in der Diskussion gegen die Kernspintomographie als Routinediagnostikum genannt. Mit der Entwicklung hochwertiger Spulen und der Einführung neuer Software erzielte man durch höhere Gradienten eine verbesserte Ortsauflösung. Darüber hinaus verkürzte sich die Meßzeit. Die Häufigkeit klaustrophober Zustände, aufgrund derer manche Patienten eine kernspintomographische Untersuchung in Hochfeldgeräten nicht tolerieren, ist bei Verwendung von Niederfeldgeräten wie dem in dieser Studie angewendeten Magnetom Open vernachlässigbar (<2%).

Die verschiedenen Untersuchungsebenen zur Beurteilung einer Rotatorenmanschette sind standardisiert. Dazu zählen Messungen in paracoronerer sowie in axialer Ebene (Uri DS, 1997). Die Anfertigung einer parasagittalen Schicht senkrecht zum Faserverlauf des M.supraspinatus, in Höhe des Tuberculum majus, führt zu einer geringgradig größeren Treffsicherheit in der Beurteilung der Sehnen sowie zu zusätzlicher Information über die Ausdehnung einer Ruptur (Patten et al., 1993).

4.2.3.1 Bewertungskriterien

a) präoperativ

Im kernspintomographischen Bild ist die komplette Ruptur einer Rotatorenmanschette mit großer Sicherheit an einer erhöhten Signalintensität im protonen- und T2-gewichteten Bild zu diagnostizieren, welche den gesamten Querschnitt der Sehne einnimmt (Kenn et al., 2000). Das morphologische Äquivalent dazu besteht aus

Flüssigkeit, welche sich zwischen den Rupturenden der Sehne ansammelt (Farley et al. 1992; Uri DS, 1997). Des Weiteren sprechen sogenannte Sekundärzeichen für eine Ruptur. Farley et al. untersuchten 1992 Sensitivität und Spezifität folgender Veränderungen, welche in Verbindung mit einer kompletten Ruptur auftreten und somit die Treffsicherheit bei der Diagnose erhöhen.

Tabelle 4.4: Aussagekraft kernspintomographischer Sekundärzeichen bei der Diagnose kompletter Rupturen

KST	Sensitivität	Spezifität	Accuracy
Lokale Ausdünnung der Sehne	85%	89%	88%
Retraktion des Muskelbauches	78%	92%	88%
Atrophie des Muskels, fettige Degeneration	60%	97%	87%
Erguß in der Bursa subacromialis / Bursa subdeltoidea	93%	75%	80%

Abbildung 4.8: Komplette SSP-Ruptur mit deutlicher Retraktion des Muskelbauches



Ein weiteres von Farley et al. genanntes unspezifisches Zeichen ist die Obliteration des subakromialen bzw. subdeltoidalen Fettstreifens.

Das Kriterium einer partiellen Ruptur ist eine lokalisierte Signalerhöhung im protonen- und T2-gewichteten Bild, welche nicht den gesamten Querschnitt der Sehne einnimmt. Die Lokalisation dieser Signalerhöhung läßt eine Einteilung in artikulärseitige, bursalseitige und intratendinöse Läsionen zu. Die Sensitivität und Spezifität sind mit 69% und 86% deutlich niedriger als bei kompletten Rupturen (Kenn et al., 2000). Die Schwierigkeit der Beurteilung liegt zum einen in der Abgrenzung gegenüber degenerativen Veränderungen der Sehne, die zu einem ähnlichen kernspintomographischen Bild führen können (Kjellin et al., 1991). Zum anderen treten auch bei asymptomatischen Probanden Signalerhöhungen ohne pathologisches Korrelat auf, die durch den "Magic angle" Effekt zu erklären sind. Dabei entsteht bei Sequenzen mit kurzer Echozeit TE bei einer bestimmten Angulierung der Sehne zum äußeren Magnetfeld Signalveränderungen, deren Fehlinterpretation zum Beispiel durch Anfertigen einer weiteren Schichtführung senkrecht zur ersten verhindert werden kann (Kenn et al., 2000).

b) postoperativ

Während die Kernspintomographie in der präoperativen Diagnostik der Schulter seit langem als eine etablierte Methode gilt, wurde die Aussagekraft bei Untersuchung des postoperativen Schulterschmerzes erst in den letzten Jahren zum Thema einiger Studien (Owen et al. 1993, Rand et al. 1996, Gusmer et al. 1997, Magee et al. 1997, Knudsen et al. 1999). Die Indikation zur operativen Revision einer Rotatorenmanschette bei Patienten mit persistierenden Beschwerden wird selten gestellt, da der Eingriff durch Vernarbungen im Bereich des alten Operationsgebietes erschwert wird und somit die Erfolgchancen deutlich geringer sind als bei einem Primäreingriff. Gusmer, Owen und Magee nahmen in ihren Studien Patienten auf, die sich einer zweiten Operation bzw. Arthroskopie unterzogen. Somit war eine intraoperative Verifizierung der kernspintomographischen Befunde möglich.

Ihren Studien zufolge enthalten nahezu alle rekonstruierten Rotatorenmanschetten kernspintomographisch Bereiche erhöhter Signalintensität, deren Ursache degenerative Veränderungen, Heilungs- bzw. Vernarbungsprozesse, aber auch Rerupturen darstellen können (Gusmer et al. 1997). Rand et al. beschreibt zusätzlich im Bereich der Nahtstellen in allen Sequenzen hypointense noduläre bis ovaläre

Strukturen. Durch Metallabrieb entstehende Artefakte können die Beurteilung der postoperativen Kernspintomographie erheblich erschweren. Sekundärzeichen, die in der präoperativen Diagnostik der Manschette auf eine Ruptur hinweisen, wie das Fehlen des subakromialen Fettstreifens oder eine flüssigkeitsgefüllte Bursa subacromialis, können bei der Beurteilung der rekonstruierten Manschette nicht als Kriterien einer Ruptur herangezogen werden (Owen et al. 1993). Des Weiteren sind bei postoperativen Patienten knöcherne Veränderungen aufgrund einer vorangegangenen Akromioplastik oder der Anlage einer Knochennut zu beachten.

Nach Gusmer und Owen gelten folgende Kriterien als sichere Zeichen einer Reruptur:

- Signalerhöhung mit flüssigkeitsähnlicher Intensität in der T2-Wichtung, den gesamten Querschnitt der Sehne einnehmend
- Fehlende Darstellbarkeit eines Teiles bzw. der gesamten Rotatorenmanschette.

Abbildung 4.9: Postoperative Reruptur der Supraspinatussehne mit Retraktion des Muskels und Humeruskopfhochstand



Die Auswertung der postoperativen Bilder in vorliegender Studie erfolgte nach den bisher akzeptierten Kriterien.

4.2.3.2 Sensitivität und Spezifität der Kernspintomographie

4.2.3.2.1 Präoperatives Patientenkollektiv

a) Ergebnisse anderer Autoren

Die hohe diagnostische Treffsicherheit der Kernspintomographie wurde bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen.

Tabelle 4.6: Sensitivität und Spezifität der Kernspintomographie der Schulter

Autor	n	Sensitivität	Spezifität	Accuracy	Referenz
Imhoff, Hodler, 1996	40	83,3%		90,3%	Arthroskopie, Operation
Quinn et al. 1995	100	84%	97%	93%	Arthroskopie
Robertson et al. 1995	82	Full tear:96-100% Part.tear:38-57%	91-98% 85-93%		Operation
Gagey et al., 1993	38+ 12	93%	94%		Operation + 12 Leichen
Patten et al.,1993	50	95%	93%		Arthroskopie, Arthrographie, Operation
Iannotti et al. 1991	88 24	Full tear:100% Part.tear:82%	95% 85%		Arthroskopie, Operation
Nelson et al. 1991	21	Full tear:86% Part.tear:67%	93% 89%	90% 76%	Operation
Morrison, Ofstein, 1990	100	100%	88%		Arthrographie, Arthroskopie
Zlatkin et al., 1989	40	91%	88%		Operation
Evancho et al., 1988	31	Full tear: 80% All tears: 69%	Full tear: 94% All tears: 89%	Full tear: 89% All tears: 84%	Arthrographie, Arthroskopie

Die zum Teil erheblichen Differenzen in den Angaben der Aussagekraft sind hauptsächlich auf die unterschiedlichen Bewertungskriterien der einzelnen Studien zurückzuführen. Weder Patten et al. noch Zlatkin et al. differenzierten in ihrer Studie bei der Berechnung der Sensitivität und Spezifität zwischen kompletten und partiellen Rupturen und erreichten daher eine äußerst hohe Aussagekraft. Auch in der Studie von Morrison et al. wurde lediglich die Erscheinung eines „anormalen MRT“ mit der arthrographisch bzw. arthroskopisch diagnostizierten Ruptur korreliert, wobei keine weitere Differenzierung zum Beispiel bezüglich der betroffenen Sehnen stattfand. Nelson et al. nimmt in seiner Studie eine Unterteilung vor, wobei hinzuzufügen ist, daß sowohl partielle Rupturen als auch Entzündungen der Sehnen, welche ein ähnliches kernspintomographisches Bild liefern, als intratendinöse Veränderungen in einer Gruppe zusammengefaßt werden. Die dennoch niedrige Sensitivität ist wohl eine Folge der geringen Fallzahl. Iannotti unterscheidet bei der Berechnung der Treffsicherheit zuerst nur eine komplette Ruptur von einer intakten Sehne und erhält somit eine Sensitivität von 100%. Bei der Beurteilung der intakten Rotatorenmanschetten faßt auch seine Studie degenerative intratendinöse Veränderungen und partielle Rupturen zu einem Diagnosekriterium zusammen, was den Grund für die hohe Sensitivität und Spezifität von 82% und 85% darstellt. Die Angaben der Studie von Robertson et al. betreffen die getrennt erfaßten Ergebnisse zweier Radiologen mit drei und acht Jahren Erfahrung in der Diagnostik von Rotatorenmanschettenrupturen.

c) Ergebnisse vorliegender Studie

Tabelle 4.7: Sensitivität und Spezifität der KST

	Ohne Differenzierung in part./kompl. Ruptur	Mit Differenzierung in part./kompl.Ruptur
KST	Sensitivität 78,6% Spezifität 89,5%	Sensitivität 64,3% Spezifität 89,5%

Die Ergebnisse vorliegender Studie hinsichtlich der Aussagekraft der Kernspintomographie in der Diagnostik von Rotatorenmanschettenrupturen läßt sich nicht exakt mit den Ergebnissen anderer Studien vergleichen. Verantwortlich hierfür sind unterschiedliche Kriterien der Auswertung. Bei der Berechnung der Sensitivität

und Spezifität bewerten die Autoren sämtlicher oben genannter Studien lediglich das Erkennen einer Ruptur der Rotatorenmanschette, wobei keine Differenzierung der einzelnen Muskeln bzw. Sehnen stattfindet. Zwar erfolgt in einigen Studien die Angabe weiterer Details wie Größe der Läsion (Zlatkin et al. 1989; Patten et al. 1993) oder Lokalisation (Patten et al. 1993), jedoch werden diese bei der Ermittlung der Sensitivität und Spezifität nicht berücksichtigt. Im Gegensatz dazu benennt der befundende Radiologe in vorliegender Studie in jedem Fall die betroffene Sehne. Diese Information fließt in die Berechnungen mit ein. Eine vom Radiologen als Supraspinatussehnen-Ruptur diagnostizierte Läsion, welche intraoperativ eine Ausdehnung bis in den Bereich der Infraspinatussehne aufweist, gilt als falsch negativ hinsichtlich der Beurteilung des M.infraspinatus. Damit basiert die Grundlage zur Berechnung der Treffsicherheit auf sehr differenzierten Kriterien, was zu einer im Vergleich zu einigen anderen Studien niedrigeren Aussagekraft führt.

Innerhalb des präoperativen Patientenkollektivs wurde nur in einem Fall der falsch negative kernspintomographische Befund einer intakten Manschette erhoben, welche intraoperativ eine Supraspinatus-Läsion aufwies. Bei allen weiteren Patienten wurde die kernspintomographisch festgestellte Ruptur während der Operation bestätigt. Diesen Ergebnissen zufolge erhält man bezüglich des Erkennens einer Ruptur ohne eine exakte Differenzierung der Rupturausdehnung eine Sensitivität von 91%, welche durchaus im Bereich der oben genannten Studien liegt.

Zu berücksichtigen ist außerdem, daß das Ziel dieser Studie in erster Linie darin lag, die Biomechanik der Schulter, zum einen präoperativ bei Rotatorenmanschettenruptur, zum anderen postoperativ nach RM-Rekonstruktion, mit Hilfe der dynamischen Kernspintomographie zu untersuchen und mit der eines gesunden Kollektivs zu vergleichen. Voraussetzung hierfür ist, daß der Arm des Patienten während der Untersuchung verschiedene Abduktionsstellungen einnehmen kann. Da diese Möglichkeit in den konventionellen Kernspintomographen nicht gegeben ist, wurden sowohl Patienten als auch Probanden in einem zu den Seiten hin offenen Niederfeldgerät untersucht. Aufgrund eines schlechteren Signal-/Rauschverhältnisses und der daraus resultierenden niedrigeren Bildqualität ist ein direkter Vergleich mit Studien, deren Untersuchungen an Hochfeldgeräten erfolgten, nicht uneingeschränkt zulässig.

4.2.3.2.2 Postoperatives Patientenkollektiv

a) Ergebnisse anderer Autoren

Tabelle 4.8: Sensitivität und Spezifität der KST nach RM-Rekonstruktion

Autor	n	Sensitivität	Spezifität	Accuracy	Referenz- methode
Owen et al. 1993	31	86%	92%	90%	Reoperation
Magee et al. 1997	50	All tears:100% Full tears:84% Part.tears:83%	91% 91% 83%		Reoperation

Beide Autoren bringen in ihren Studien deutlich zum Ausdruck, daß die Abgrenzung einer kompletten Ruptur von einer intakten bzw. partiell rupturierten Manschette anhand oben genannter Kriterien mit hoher Sicherheit möglich sei. Die Differenzierung einer partiellen Ruptur und einer intakten rekonstruierten Sehne sei jedoch aufgrund des ähnlichen kernspintomographischen Signalverhaltens nicht zuverlässig.

Rand (1996) beschreibt bei acht postoperativ untersuchten Patienten zwei unauffällige Rotatorenmanschetten, eine partielle Reruptur, sowie fünf Patienten mit degenerativen oder narbigen Veränderungen. In seiner Studie verwendete er Gadolinium als intraartikuläres Kontrastmittel. Bei keinem seiner Patienten wurde ein weiteres bildgebendes Verfahren zur Verifizierung seiner Ergebnisse herangezogen. Knudsen (1999) untersuchte 31 Schultern nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion, wobei er in 32% eine sichere Reruptur feststellen konnte. Auch hier erfolgte keine weitere Diagnostik zum Vergleich.

b) Ergebnisse vorliegender Studie

Wie bei der Sonographie stellte sich auch bei der Auswertung der kernspintomographischen Befunde des postoperativen Patientenkollektivs das Problem der fehlenden intraoperativen Kontrolle. Wiederum bildete ein Konsens der drei Untersuchungsmethoden die Referenz.

Alle Patienten, bei welchen arthrographisch ein Kontrastmittelaustritt in die Bursa subacromialis / subdeltoidea nachweisbar war, zeigten kernspintomographisch das Bild

einer Sehnenruptur. Diese zeigte sich als eine Signalverstärkung im Protonen- und T2-gewichteten Bild über die gesamte Höhe der Sehne, bzw. als fehlende Darstellbarkeit der Sehne. Teilweise wurde zusätzlich ein Erguß der Bursa oder innerhalb des Gelenkraumes festgestellt.

Insgesamt wurde bei vier Patienten arthrographisch ein breiter Kontrastmittelaustritt im Sinne einer Reruptur diagnostiziert. Bei drei dieser Patienten war vorher eine Kernspintomographie durchgeführt worden. Der kernspintomographische Befund ergab in zwei Fällen eine komplette Ruptur der Sehne des M.supraspinatus und M.infraspinatus, bei einem weiteren Patienten war nur die Supraspinatussehne betroffen. Drei Fälle zeigten arthrographisch eine Ruptur mit einer Ausdehnung kleiner 1cm Breite (nicht wasserdicht verschlossene Manschette). Die Befunde der Kernspintomographie ergaben bei zwei dieser Patienten eine Läsion des M.supraspinatus, der dritte wies eine Beteiligung des M.supraspinatus und M.infraspinatus auf. Partielle Rupturen wurden nicht diagnostiziert.

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß bei der kernspintomographischen Untersuchung bereits sehr kleine Veränderungen vom Untersucher wahrgenommen werden. Auch bei einer nicht wasserdicht verschlossenen Manschette besteht eine Verbindung zwischen Gelenkbinnenraum und Subakromialraum, durch die Kontrastmittel austreten kann. Selbst diese kleine Durchtrittsöffnung im Bereich einer Sehne stellt sich kernspintomographisch als Signalverstärkung dar, welche den gesamten Sehnedurchmesser in vertikaler Richtung betrifft und somit per definitionem als komplette Ruptur angesehen werden kann. Gegenüber der Sonographie, in Folge derer alle nicht wasserdicht verschlossenen Manschetten als intakt befundet wurden, kann man hier von einer höheren Sensitivität der Kernspintomographie ausgehen. Calvert and Packer stellten 1986 fest, daß zwischen dem klinischen Ergebnis und einem wasserdichten Verschuß der Manschette keine Abhängigkeit bestehe. Aus diesem Grund wird das Erkennen solcher Veränderungen durch die Kernspintomographie als zusätzliche Informationen über den Zustand der operierten Manschette betrachtet.

Bezüglich der Diagnostik partieller Rupturen postoperativer RM-Manschetten liegen derzeit unsichere Ergebnisse vor. Einige Autoren sehen hierin die größte Herausforderung bei der Beurteilung der rekonstruierten Rotatorenmanschette (Owen et al. 1993, Gusmer et al. 1997, Magee et al. 1997). Auch arthrographisch ist die Diagnose einer gelenkseitigen Partialläsion durch die operationsbedingte Unregelmäßigkeit der Sehnenunterfläche, vor allem im Bereich der Sehnennaht,

äußerst unsicher, so daß bezüglich partieller Rupturen keine verlässliche Referenzmethode verfügbar ist. Rand et al. applizierten bei einem postoperativen Patientenkollektiv Kontrastmittel intraartikulär, woraufhin sie bei einem der acht untersuchten Patienten eine partielle Ruptur feststellten. Angesichts der möglichen postoperativen Stufenbildung im Bereich der Sehnenunterfläche ist die Bedeutung der postoperativen MR-Arthrographie jedoch umstritten und ohne klinische Bedeutung.

4.3 Dynamische kernspintomographische Untersuchung

Veränderungen des Subakromialraumes bei Rotatorenmanschettenläsionen waren bereits das Thema zahlreicher Studien. Golding et al. (1962), Cotton and Rideout (1964) und Weiner and MacNab (1970) sind nur einige Autoren, die anhand des SAR Rückschlüsse auf den Zustand der Rotatorenmanschette zogen. Zur Messung des Abstandes verwendeten sie Röntgenaufnahmen der Schulter. Nachteil dieser Technik ist zum einen die Überlagerung der knöchernen Strukturen auf dem Röntgenbild, zum anderen die Strahlenbelastung des Untersuchten. Eine andere Methode wurde 1997 von Lochmüller et al. vorgestellt. Mit Hilfe von computertomographisch angefertigten axialen Schnittbildern in sehr dünn angefertigten Schichten wurde der subakromiale Raum mit seinen angrenzenden Strukturen dreidimensional rekonstruiert. Der Vorteil hierbei besteht in der Möglichkeit der gleichzeitigen Abbildung beider Schultern, um diese vergleichen und Pathologien besser erkennen zu können. Allerdings ist der Patient einer Strahlenbelastung ausgesetzt, die umso größer wird, je höher die Auflösung des rekonstruierten Bildes gewünscht wird. Auch eine Darstellung der Schulter in Abduktionsstellung, in welcher bekanntlich die Schmerzen und Probleme der Patienten am häufigsten auftreten, ist mit der Computertomographie nicht möglich. Die Kernspintomographie bietet ebenfalls die Möglichkeit der 3-D-Rekonstruktion des Subakromialraumes. Graichen et al. erstellten mit Hilfe des Magnetom Open dreidimensionale Bilder des SAR der abduzierten Schulter. Auf diese Weise untersuchten sie die Abstände zwischen Humerus und Akromion an fünf gesunden Probanden.

Durch die hier präsentierte Studie wird mittels Kernspintomographie der Zusammenhang zwischen dem Ausmaß einer Ruptur und der Entwicklung eines Humeruskopf-Hochstandes untersucht. Anhand der Messungen des Subakromialraumes in Abduktionsstellungen sowie der Translationsbewegungen soll

festgestellt werden, ob Patienten mit RM-Rupturen bzw. nach Rekonstruktion der Sehnen eine in Abduktion und unter Belastung veränderte Biomechanik im Vergleich zu einem Kontrollkollektiv aufweisen.

Um eine aktive Abduktion zu simulieren, wurden Bilder in verschiedenen Abduktionsstellungen jeweils mit und ohne einer nach kaudal gerichteten Kraft angefertigt. Entscheidend ist, daß die Messungen dieser Studie bei isometrischer Muskelanspannung durchgeführt wurden. Die Darstellung einer dynamischen Bewegung der Schulter in Echtzeit war bisher mittels Kernspintomographie nicht möglich.

4.3.1 Der Subakromialraum

Der subakromiale Raum umfaßt den Bereich zwischen Humeruskopf bzw. Ligamentum coracohumerale und dem Schulterdach, bestehend aus Akromion, Akromioklavikulargelenk, lateraler Klavikula und dem Ligamentum coracoacromiale (Eulert und Hedtmann, 1996). Er enthält den M.supraspinatus, der in der Fossa supraspinata entspringt und am Tuberculum majus ansetzt, und die Bursa subacromialis. Die Ergebnisse einiger Autoren verdeutlichen den Zusammenhang zwischen einer Rotatorenmanschetten-Ruptur und einer Verringerung des Subakromialraumes (Golding et al. 1962, Cotton and Rideout 1964, Weiner and MacNab 1970, Petersson and Redlund 1984). Als Maß verwenden sie einheitlich die auf einer anteroposterioren Röntgenaufnahme gemessene minimale Distanz zwischen Humeruskopf und Akromion.

Ein Problem bei der exakten Messung des SAR im konventionellen Röntgenbild stellt die Überlagerung der knöchernen Strukturen dar. Mit Hilfe der Kernspintomographie werden Schnittbilder in Abständen von wenigen Millimetern erstellt, wodurch die räumlichen Verhältnisse präzise wiedergegeben werden. In der hier präsentierten Studie wurde die Höhe des Subakromialraumes anhand der T2-gewichteten Bilder mit der zur Verfügung stehenden Software direkt auf dem Bildschirm gemessen. Dazu wurden jeweils mehrere Messungen durchgeführt, um Reproduzierbarkeit zu gewährleisten. Schwierigkeiten traten teilweise bei der Auswertung des postoperativen Kollektivs auf, da in manchen Fällen das Bild durch Metallartefakte verändert war. Auch im Fall einer vorangegangenen Akromioplastik nach Neer wurde der kleinste Abstand der knöchernen Strukturen zueinander gemessen.

4.3.1.1 Veränderungen des SAR bei Abduktion mit und ohne Belastung

Die Distanz von der Gelenkfläche des Humeruskopfes bis zur Unterfläche des Akromions beschreibt die Höhe des Subakromialraumes. Zuerst soll die Veränderung des SAR während der Abduktion anhand des gesunden Kollektivs betrachtet werden. Ohne Belastung des Armes durch ein Gewicht wurde eine kontinuierliche Abnahme des SAR von 7,3 mm in Neutralstellung bis auf 3,7 mm in 90° Abduktionsstellung beobachtet. Diese Feststellung steht in Einklang mit den Ergebnissen anderer Autoren. Flatow et al. (1994) untersuchte unter anderem den SAR in Abduktion an neun nicht pathologisch veränderten Leichenschultern. Seine Messungen an antero-posterioren Röntgenaufnahmen zeigen ebenfalls eine Verringerung des Abstandes von durchschnittlich 11,1 mm in Neutralstellung auf 4,7 mm in 110° Abduktion. Auch Graichen et al. (1998) bestätigt diese Ergebnisse anhand kernspintomographische Untersuchungen an 5 gesunden Probanden. Mit Hilfe einer dreidimensionalen Rekonstruktion errechnet er eine durchschnittliche Abnahme des SAR von 7,9 mm in 30° Abduktion auf 6,8 mm in 90° Abduktion (5,9 mm bei 150° Abduktion). In einer weiteren Studie an gesunden Probanden kommt er jedoch zu widersprüchlichen Ergebnissen (Graichen et al. 2000). Demnach führt die passive Abduktion des Armes zu einer Zentrierung des Humeruskopfes, was gleichzeitig eine Erweiterung des SAR zur Folge hätte. Durch zusätzliche muskuläre Anspannung nehme diese Zentrierung nach seiner Aussage zu. Die Ergebnisse dieser Studie können durch vorliegende Messungen nicht bestätigt werden. Lange Untersuchungszeiten, die für die Rekonstruktion eines dreidimensionalen Blocks notwendig sind, limitieren den Einsatz des Verfahrens von Graichen auf die Untersuchung gesunder Probanden. Hinzuzufügen ist, daß auch die Methode von Graichen ein statisches Untersuchungsverfahren darstellt, welches keinen direkten Rückschluß auf die Biomechanik der aktiven Abduktion ziehen läßt.

Ab einer Abduktion von ca. 90° befindet sich das Tuberculum majus direkt neben bzw. unterhalb des Schulterdaches und stellt somit die kürzeste Distanz zwischen Humeruskopf und Akromion dar (Flatow et al. 1994).

Auch die Ergebnisse bei Belastung der abduzierten Schulter zeigen ein ähnliches Ergebnis im Sinne einer kontinuierlichen Abnahme des SAR, wobei die Werte in 45° und 90° Abduktion etwas geringer sind als bei muskulärer Entspannung des Patienten. Der Grund hierfür liegt in einer bei Abduktion gegen ein Gewicht gesteigerten Aktivität

des M.deltoideus. Mit zunehmender Abduktion nimmt die Länge des Hebelarmes des M.deltoideus zu, während gleichzeitig die des M.supraspinatus abnimmt. Somit stellt der Deltamuskel in 45° und 90° Abduktion den stärksten Abduktor dar (Otis et al. 1994). Durch seinen Verlauf bedingt, wird der Humeruskopf dadurch gegen das Schulterdach gedrückt. Trotz Gegenzug durch die Depressoren führt dies auch beim Gesunden zu einer minimalen Abnahme des SAR in beiden Abduktionsstellungen, was keinen pathologischen Befund darstellt.

Der Versuchsaufbau vorliegender Studie simulierte die Abduktion des Armes gegen eine nach kaudal gerichtete Kraft. Hierbei muß eingeräumt werden, daß aufgrund der unterschiedlichen Hebelarme, bestimmt durch die Armlänge des Patienten, Drehmomente verschiedener Größe auf die jeweilige Schulter wirken. Durch die Tatsache, daß die Abduktion durch den Patienten aktiv ausgeführt wird, nähert sich das Modell den Bedingungen in vivo. Eine Limitation der Aussagekraft besteht jedoch in der Tatsache, daß Messungen in Echtzeit mit diesem Verfahren nicht möglich waren.

4.3.1.2 Präoperatives Kollektiv

Nach der Anzahl der betroffenen Sehnen wurde das präoperative Kollektiv in drei Untergruppen eingeteilt. Nur ein Patient wies eine partielle Ruptur einer Sehne auf. Zwar wurde dieser Patient getrennt betrachtet, aber wie bereits an der graphischen Darstellung des Subakromialraumes bei Abduktion ersichtlich, weicht der gemessene SAR nur geringgradig vom Verlauf des SAR bei Ein-Sehnen-Rupturen ab.

Ohne Belastung nimmt die Höhe des SAR bei Abduktion von 0° auf 45° geringfügig zu, um bei weiterer Abduktion auf 90° deutlich abzunehmen.

Bei sieben der acht Patienten dieser Gruppe wurde intraoperativ eine Ruptur des M.supraspinatus diagnostiziert. Dieser wirkt zusammen mit dem Deltamuskel und den kranialen Anteilen der Mm.infraspinatus und subscapularis als Abduktor (Wülker et al. 1994, Otis et al. 1994). Seine weitere Aufgabe besteht darin, den Humeruskopf während der Abduktion gegen das Glenoid zu pressen, um so den engen Kontakt zwischen den Gelenkflächen zu gewährleisten (Wülker et al. 1994). Die Aufgabe des Depressors des Humeruskopfes, der dem nach kranial gerichteten Zug des Deltamuskels entgegenwirkt, übernehmen die kaudalen Anteile der Mm.infraspinatus und subscapularis und der M.teres minor. Nove-Josserand bezeichnet den

M.infraspinatus als stärksten Depressor, dessen Ruptur bzw. Inaktivität ein Höherentreten des Humeruskopfes bewirkt. Im Falle der Patienten mit einer rupturierten Sehne ist die nach kaudal gerichtete Kraft weitgehend ungestört, wodurch eine Abnahme des SAR bei Abduktion von 45° verhindert wird.

Bei weiterer Abduktion auf 90° nimmt der SAR in gleichem Maße wie beim gesunden Kontrollkollektiv deutlich ab. Der mediale Rand des Tuberculum majus tritt bei etwa 90° Abduktion unter das laterale Ende des Akromions. Dies bewirkt eine abrupte Abnahme des SAR (Flatow et al. 1994). Auch hier verhindert die Aktivität der Depressoren eine zusätzliche Verringerung des SAR.

Abbildung 4.11: SAR eines präoperativen Patienten mit SSP-Ruptur in „0-Stellung“ (SAR = 0,6 cm)

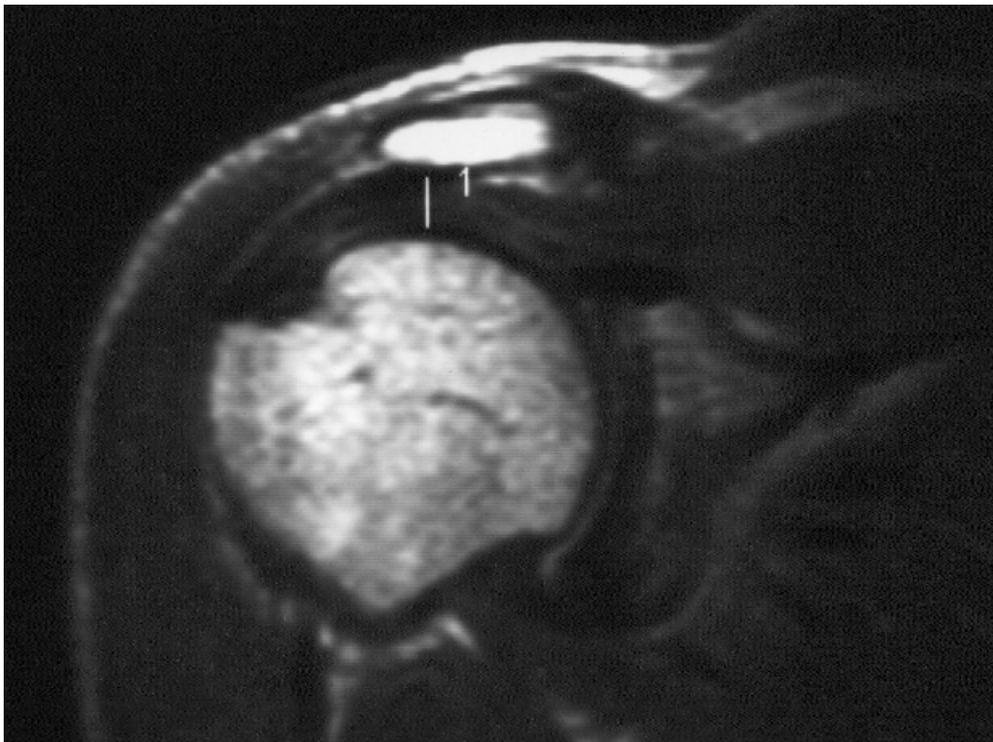
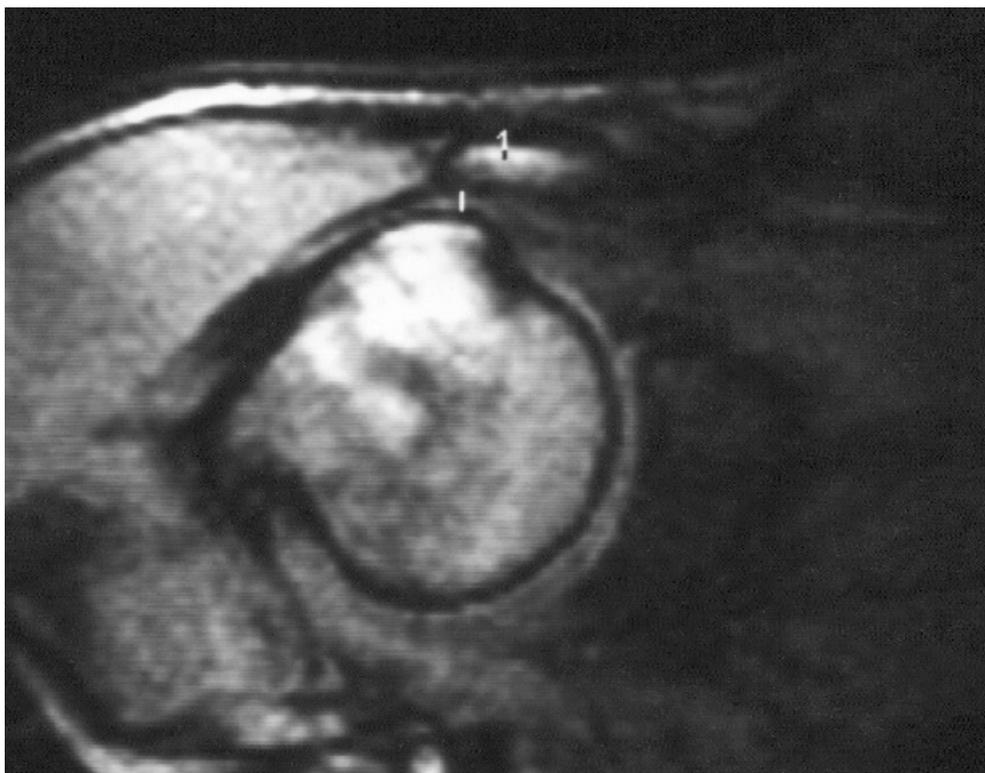


Abbildung 4.12: SAR in 45° Abduktion (SAR = 0,6 cm)



Abbildung 4.13: SAR in 90° Abduktion (SAR = 0,2 cm)



Bei Belastung der Patienten mit Ein-Sehnen-Rupturen verhält sich der Subakromialraum sehr ähnlich dem SAR der Kontrollgruppe. Es kommt lediglich zu einer geringen zusätzlichen Abnahme des SAR. Oben genannte Begründungen sind auch in diesen Fällen anzuwenden. Die Depressoren des Humeruskopfes sind in der Mehrzahl der Fälle intakt. Zudem besteht bei den Ein-Sehnen-Rupturen meist noch ein Teil des SSP, der sozusagen als „Platzhalter“ fungiert. Eine Retraktion des Muskelbauches bei Ruptur des M.supraspinatus, die zu einem Höherentreten des Humeruskopfes führen könnte, tritt meist nur bei Patienten auf, deren Supraspinatussehne in ganzer Ausdehnung rupturiert ist. In diesen Fällen besteht häufig eine Beteiligung der angrenzenden Sehnen. Damit sind diese Patienten im Kollektiv der Mehr-Sehnen-Rupturen beschrieben.

Das Kollektiv der Patienten mit Beteiligung von zwei oder mehr Sehnen der Rotatorenmanschette beinhaltet einen Patienten mit Ruptur der Supraspinatus- und Infraspinatussehne und zwei weitere mit zusätzlicher Läsion der Sehne des M.subscapularis. In einem Fall war außerdem die lange Bizepssehne rupturiert. Allen dreien gemeinsam ist ein Subakromialraum von weniger als 6 mm in Neutralstellung, was der Definition eines Humeruskopf-Hochstandes entspricht. Bei Abduktionsstellungen von 45° und 90° ist jedoch keine einheitliche Tendenz festzustellen. Der Subakromialraum des Patienten mit zwei rupturierten Sehnen erweitert sich geringfügig in 45° Abduktion, auf die Messung in 90° Abduktion wurde aufgrund von angegebenen Schmerzen in dieser Position verzichtet. Etwa auf gleichem Niveau wie in Neutralstellung bleibt der SAR des zweiten Patienten in Abduktion. Im Falle des dritten Patienten, dessen Bizepssehne zusätzlich betroffen ist, findet eine deutliche Erweiterung des SAR mit zunehmender Abduktion statt, die auch als maßgeblich angesehen wird für den Verlauf der graphischen Darstellung.

Für die unterschiedlichen Werte des SAR bei Abduktion innerhalb dieses Kollektivs müssen mehrere Gründe in Betracht gezogen werden. Zum einen weisen die Patienten eine unterschiedliche Beteiligung der Sehnen auf. Durch die noch funktionsfähigen Muskeln resultiert eine Kraft, deren Ausmaß und Zugrichtung von der Anzahl und der Beschaffenheit der noch vorhandenen Muskeln und Sehnen abhängt. Als weiterer Grund für die Inhomogenität der Ergebnisse ist der bereits bei 0° Abduktion bestehende Humeruskopf-Hochstand zu nennen. Auch bei gesunden Probanden ist eine maximale Abduktion des Arms nur möglich, wenn zusätzlich eine gewisse Außenrotation stattfindet. Damit wird der Kontakt des Tuberculum majus mit dem Schulterdach verhindert. Codman gibt für eine maximale Abduktion eine Rotation von

ca. 40° an. Im Falle der Patienten mit bereits in Ruhestellung vermindertem Subakromialraum berührt das Tuberculum majus schon in erheblich niedrigeren Abduktionsstellungen das Akromion, was neben einer mechanischen Behinderung der Abduktion auch Schmerzen verursacht. Um diese zu vermeiden bzw. um die Abduktion bis 90° erst zu ermöglichen, führen die Patienten häufig unwillkürlich Rotationsbewegungen durch, die das Tuberculum majus unter dem Schulterdach herausdrehen. In diesem Fall ist die Neutralstellung des Arms nicht mehr gewährleistet und ein Vergleich der subakromialen Höhe nicht exakt möglich.

Bei Belastung kommt es zu einer geringen Abnahme des SAR in einem Fall, in den anderen Fällen zeigt sich keine Veränderung des SAR.

Um eventuelle einheitliche Veränderungen der Biomechanik bei Patienten mit Rupturen mehrerer Sehnen zu erkennen, ist eine Studie an einem größeren Kollektiv zu empfehlen, deren Rotatorenmanschetten-Läsionen im Hinblick auf Ausmaß und Lokalisation der Rupturen vergleichbar sind.

4.3.1.3 Postoperatives Kollektiv

Der Subakromialraum des postoperativen Kollektivs wurde nach dem bereits beschriebenen Verfahren gemessen und in eine Graphik übertragen. Auch hier galt es festzustellen, inwieweit sich der SAR der beiden Teilgruppen untereinander und von dem des Kontrollkollektivs unterscheidet.

Bei allen Patienten dieses Kollektivs war neben dem Verschluss der Rotatorenmanschette eine Akromioplastik nach Neer zur Dekompression der Supraspinatussehne durchgeführt worden. Dabei wird das Ligamentum coracoacromiale und die Unterfläche des Akromions im vorderen Abschnitt reseziert (Krämer et al. 1997). Als Folge resultiert eine Erweiterung des Subakromialraumes, die sich auch in den Ergebnissen vorliegender Studie widerspiegelt.

Die Höhe des SAR des Kollektivs ohne Reruptur ist bei anliegendem Arm ebenso wie in 45° und 90° Abduktion signifikant größer als die des Kontrollkollektivs. Mit zunehmender Abduktion verringert sich der SAR in beiden Gruppen, wobei die geringere Abnahme des SAR im Patientenkollektiv wohl ebenfalls auf die veränderten anatomischen Verhältnisse zurückzuführen ist. Vorliegendes Ergebnis beweist den

Erfolg der Operation im Sinne einer Erweiterung des SAR und damit einer Dekompression der Sehne.

Eine Belastung führt wie bereits im präoperativen Kollektiv zu einer weiteren Abnahme des SAR in der jeweiligen Abduktionsstellung.

Die Ergebnisse der Patienten mit diagnostizierter Reruptur zeigen ein ähnliches Bild wie die der präoperativen Patienten mit Mehr-Sehnen-Ruptur. Wiederum ist allen gemeinsam ein stark verminderter SAR bereits in Neutralstellung, der Humeruskopf ist nach kranial subluxiert. Dies ist die auch im kernspintomographischen Bild sichtbare Folge der Atrophie und Retraktion der Sehne. Man spricht hierbei auch von einer Humeruskopfglatze. Die Ursache für das extreme Höhertreten des Humeruskopfes ist sowohl der Verlust der Sehne als Platzhalter zwischen Humerus und Akromion, als auch eine Beeinträchtigung der den Humerus nach kaudal ziehenden Muskeln, im Fall der hier angeführten Patienten des M.infraspinatus. Dadurch überwiegt die Kraftkomponente des Deltamuskels, der den Humeruskopf gegen das Schulterdach drückt.

Die graphische Darstellung des SAR der Patienten mit Reruptur beschreibt eine minimale Abnahme in 45°, in 90° jedoch eine deutliche Zunahme des SAR. Da die Kurve aus den Werten dreier Patienten errechnet wurde, ist eine Betrachtung der einzelnen Patienten sinnvoll. Der erste Patient weist einen in allen Abduktionsstellungen gleichbleibenden SAR auf, bei einem weiteren findet eine geringe Erweiterung erst bei 90° Abduktion statt. Der dritte Patient zeigt nach einer diskreten Abnahme der Höhe in 45° eine deutliche Zunahme bei weiterer Abduktion. Wiederum bestimmt dieser Patient den Verlauf des Graphen, der damit nicht repräsentativ für das gesamte Kollektiv ist. Bei zusätzlicher Belastung nimmt der SAR eines Patienten sowohl in 45° als auch in 90° Abduktion ab, der SAR der beiden anderen Patienten zeigt keine zusätzliche Veränderung. Das Verletzungsmuster der Patienten weist jeweils eine Beteiligung des M.supraspinatus und M.infraspinatus auf. Jedoch existieren eine Vielzahl anderer Gründe, die für die unterschiedliche Biomechanik verantwortlich gemacht werden. Je nach Ausmaß der Reruptur, die nicht in allen Fällen die gesamte Breite der beteiligten Sehnen betreffen muß, besteht noch eine geringe Kraft der verbleibenden Sehnenanteile, die sich auf die Biomechanik auswirken kann. Zudem handelt es sich jeweils um Schultern nach einem operativen Eingriff. Vernarbungen im Bereich der rekonstruierten Manschette oder bedingt durch den operativen Zugang sind möglicherweise auch an der individuellen Veränderung

der Biomechanik beteiligt. Ein weiterer Grund ist eine mögliche Kapselschrumpfung infolge der postoperativen Schonhaltung des Arms. Sowohl Schmerzen als auch Kraftminderung der Patienten mit Reruptur bedingen häufig unwillkürlich eine Minderbenutzung des betroffenen Arms, wodurch innerhalb sehr kurzer Zeit die Beweglichkeit erheblich eingeschränkt werden kann. Die erwähnte Schrumpfung der Kapsel ebenso wie die aufgrund von Kraftverlust und Bewegungseinschränkung erforderlichen Ausweichbewegungen führen zu einem interindividuell sehr unterschiedlichen Bewegungsmuster.

Die Variabilität der genannten Einflußgrößen kann für das unterschiedliche Verhalten des SAR bei Abduktion verantwortlich gemacht werden. Ein einheitliches biomechanisches Muster läßt sich anhand des untersuchten Kollektivs nicht darstellen.

4.3.2 Humeruskopfhochstand

Das Höherentreten des Humeruskopfes und damit die Verringerung des Subakromialraumes als Folge einer Rotatorenmanschetten-Ruptur ist ein bekanntes Phänomen, das bereits von vielen Autoren beschrieben wurden. Retrospektiv versuchten sie, den Rückschluß von einer bestimmten Höhe des SAR auf die Anwesenheit einer Läsion zu ziehen. Folgende Tabelle beinhaltet die jeweils als „normal“ bezeichnete Höhe des SAR im gesunden Kollektiv. Die Messungen erfolgten jeweils an einem antero-posterioren Röntgenbild mit dem Arm des Patienten bzw. Probanden in Neutralposition.

Tabelle 4.9: Angaben verschiedener Autoren zum Subakromialraum

Autor	SAR	Bemerkung
Golding et al. 1962	7-13 mm	<5 mm: Hinweis auf Ruptur
Cotton and Rideout 1964	6-14 mm	
Weiner and MacNab 1970	7-14 mm	50% der Pat. mit RM-Ruptur: SAR<6 mm
Petersson et Redlund-Johnell 1984	9-10 mm	<6 mm: Hinweis auf SSP-Ruptur
Goupille et al. 1993	Keine Angabe	<=7 mm Hinweis auf Ruptur; Leclercq-Manöver erhöht Spezifität der Aussage
Nove-Josserand et al. 1996	Keine Angabe	SSP-Ruptur: 4,5% Abnahme des SAR SSP+ISP: 28% Abnahme des SAR SSP+ISP+SSC: 63% Abnahme des SAR

Sowohl Golding et al. als auch Weiner and MacNab weisen darauf hin, daß der Humeruskopfhochstand kein Zeichen einer frischen Ruptur darstellt, sondern erst nach Atrophie und Degeneration des Muskels auftritt. Goupille et al. führen neben der Messung in Neutralposition ein Leclercq-Manöver durch. Dabei abduziert der Patient seinen Arm während der Röntgenaufnahme gegen einen Widerstand, wodurch ein zusätzliches Höherentreten des Humeruskopfes bei Rotatorenmanschetten-Ruptur beobachtet wird. In der hier präsentierten Studie wurde ein Verfahren angewandt, das dem Leclercq-Manöver prinzipiell gleicht. Unterschiede bestehen darin, daß der Patient sich während der Untersuchung im Kernspintomographen in Rückenlage befindet, und daß die Kraft, die er bei dem Leclercq-Manöver von Goupille et al. aufwendet, um gegen einen Widerstand zu abduzieren, nicht quantifiziert ist. Es ist anzunehmen, daß diese Kraft größer ist als die hier angewandte. .

Nach Angaben von Goupille ist ein SAR von 7 mm oder weniger mit einer Spezifität von 97,5 % Zeichen einer Ruptur (Sensitivität 24%), durch Anwendung des Leclercq-Manövers erhöht sich die Sensitivität auf 62%. Seiner Aussage nach weist eine Differenz des SAR von mindestens 2 mm zwischen der gesunden und der kranken Schulter mit einer Spezifität von 97% auf eine RM-Ruptur hin. Nove-Josserand et al. geben als Mittelwerte für den SAR bei isolierter SSP-Ruptur 9,5 mm +/-0,17 mm, bei SSP- und ISP-Ruptur 7,5 mm +/- 0,4 mm, und bei zusätzlicher Beteiligung des Subscapularis 5,4 mm +/- 0,5 mm an. Mit diesen Angaben liegen sie nur im Fall einer Drei-Sehnen-Ruptur im Bereich der oben genannten pathologischen Werte.

Der SAR der Kontrollgruppe vorliegender Studie hat einen Mittelwert von 7,3 mm (Streuung 1,2 mm) mit einem Maximalwert von 10 mm und einem Minimum von 6 mm. Aufgrund dieser Ergebnisse und in Anbetracht oben angeführter Studien wurde als Voraussetzung für die Diagnose eines Humeruskopfhochstandes ein SAR von weniger als 6 mm festgelegt.

Als Grund für das Höherentreten des Humeruskopfes wird eine muskuläre Imbalance zwischen dem M.deltoideus einerseits und den Muskeln der Rotatorenmanschette andererseits genannt (Weiner and MacNab, 1970). Insbesondere bei Beginn der Abduktion zeigt der Kraftvektor des Deltamuskels aufgrund seines kurzen Hebelarms entlang der Achse des Humerus und drückt damit den Humeruskopf gegen das Schulterdach. Die intakte Rotatorenmanschette, insbesondere die unteren Anteile des M.infraspinatus und M.subscapularis, wirken dem nach kranial gerichteten Zug entgegen und zentrieren das Gelenk während der Abduktion (Poppen and Walker, 1977, Zuckerman and Matsen, Wülker et al. 1994). Fehlt dieser Gegenzug aufgrund

einer Ruptur oder Parese der oben genannten Muskeln, wandert der Humeruskopf nach kranial. Nove-Josserand bezeichnet den M.infraspinatus als wichtigsten Depressor des Schultergelenkes. Auch Bellumore (1994) unterstreicht aufgrund der Ergebnisse einer Studie an 108 Schultern nach Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion die maßgebende Rolle des M.infraspinatus bei der Zentrierung des Humeruskopfes. Er fand eine signifikante Korrelation zwischen der Abnahme des Subakromialraumes und einer Reruptur der Manschette, wobei in allen Fällen der M.infraspinatus beteiligt war. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen vorliegender Studie stellt Thompson et al. (1996) anhand einer Untersuchung an Leichenschultern mit unterschiedlich großen Rotatorenmanschettenrupturen dar, daß eine auf den M.supraspinatus beschränkte Ruptur die Biomechanik unwesentlich beeinflusst, jedoch eine Verletzung des sogenannten transversalen Muskelpaares (ISP oder SSC) zu einer kranialen Dislokation des Humeruskopfes führt. Yamaguchi et al. (2000) differenziert bei seinen Untersuchungen nicht nach dem Ausmaß der Ruptur. Er kommt zu dem Ergebnis, daß jede Ruptur, symptomatisch oder asymptomatisch, zu einer kranialen Dezentrierung bei Abduktion führt. Die Schultern des Kontrollkollektivs bleiben zentriert.

Der M.supraspinatus wirkt zum einen durch seine Lokalisation als Platzhalter zwischen Humerus und Schulterdach, weshalb vermutet wird, daß ein Humeruskopfhochstand erst bei alten Rupturen mit Atrophie bzw. Retraktion des Muskels auftritt (Weiner and MacNab, 1970), zum anderen preßt er den Humeruskopf während der gesamten Abduktion gegen die Gelenkpfanne (Poppen and Walker 19778, Zuckerman and Matsen, Wülker et al. 1994) und unterstützt somit die Zentrierung.

Das Ergebnis der Studie von Weiner und MacNab, welche den M.supraspinatus als wichtigsten Depressor bezeichnen und ihn im Falle einer Ruptur für die superiore Dislokation des Humeruskopfes verantwortlich machen, kann mit der folgenden Darlegung der Ergebnisse dieser Studie nicht bestätigt werden.

4.3.2.1 Präoperatives Kollektiv

Vier der zwölf Patienten wiesen einen SAR kleiner 6 mm auf. Die Diagnose eines Humeruskopfhochstandes korreliert signifikant mit der Anzahl der rupturierten Sehnen ($p=0,0039$). Bei zwei Patienten zeigte sich eine Beteiligung des Supraspinatus, Infraspinatus und Subscapularis, in einem Fall waren der M.supraspinatus und

M.infraspinatus rupturiert. Folglich ist bei der Diagnose eines Humeruskopf-Hochstandes von einer Ruptur von zwei oder mehr Sehnen auszugehen.

Abbildung 4.10: Humeruskopfhochstand präoperativ bei einem Patienten mit einer Drei-Sehnen-Ruptur in 45° Abduktion (SAR = 0,3 cm)



Bei einem vierten Patienten vorliegender Studie mit Hochstand des Humeruskopfes wurde intraoperativ eine ausgedehnte komplette Supraspinatussehnen-Ruptur mit deutlicher Ausdünnung der gesamten Rotatorenmanschette sowie ein Abriß der langen Bizepssehne festgestellt. Bereits vier Monate vor der offenen Rekonstruktion war die Diagnose anhand einer Arthroskopie gestellt worden. Per Definition handelt es sich hierbei um eine Ein-Sehnen-Ruptur. In diesem Fall ist jedoch der Verlust der zentrierenden Funktion des M.bizeps für das Höhertreten des Humeruskopfes verantwortlich. Kido et al. (2000) untersuchte die Dezentrierung des Humeruskopfes bei Rotatorenmanschettenruptur jeweils mit und ohne Anspannung des M.bizeps. In

verschiedenen Abduktionsstellungen konnte er eine signifikante Translation nach kranial bei fehlender Funktion des M.bizeps darstellen.

Ein Hochstand des Humeruskopfes ist zu erwarten, wenn mindestens zwei Sehnen der Rotatorenmanschette rupturiert sind bzw. wenn eine Ein-Sehnen-Ruptur in Kombination mit einem Abriß der langen Bizepssehne auftritt.

4.3.2.2 Postoperatives Kollektiv

Innerhalb des postoperativen Kollektivs zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Diagnose eines Humeruskopfhochstandes und einerseits dem arthrographischen Befund einer Reruptur ($p=0,0003$), andererseits der Anzahl der rerupturierten Sehnen ($p=0,0063$). Bei allen Patienten mit Humeruskopfhochstand war operativ eine Akromioplastik nach Neer durchgeführt worden. Dennoch führte die Reruptur und die folgende Retraktion der Sehne zu einem deutlichen Höherentreten des Humeruskopfes.

4.3.3 Translation

Im Gegensatz zur Hüfte besteht beim Schultergelenk keine knöcherne Führung. Stabilität erhält es in erster Linie durch die Kapsel und die Muskeln der Rotatorenmanschette, die das Gelenk fast lückenlos umschließen. Die Gelenkfläche des Glenoids beträgt lediglich ein Drittel der Gelenkfläche des Humeruskopfes (Soslowski et al. 1992). Außerdem ist sie so flach, daß Translationsbewegungen sowohl in der vertikalen als auch in der sagittalen Ebene möglich sind. In zahlreichen Studien wurde bereits versucht, das Ausmaß der Translation sowohl im gesunden Kollektiv als auch bei verschiedenen Pathologien der Schulter zu ermitteln. Die Mehrzahl der Untersuchungen fand an isolierten Leichenschultern statt, die aufgrund der komplizierten muskulären Führung beim lebenden Objekt die Zulässigkeit einer Übertragung der Ergebnisse nicht garantieren. Die teilweise erheblichen Differenzen der Ergebnisse nahmen die Autoren der hier präsentierten Studie zum Anlaß, Patientengruppen mit Rotatorenmanschetten-Rupturen und nach deren Rekonstruktion auf eine abnorme Translation während der Abduktionsbewegung zu überprüfen.

Die in vorliegender Studie angewandte Meßmethode zur Ermittlung der Translation des Humeruskopfes auf dem Glenoid wurde bereits in früheren Studien beschrieben. Papilion und Shall (1992) untersuchten auf diese Weise die anterior-posteriore Translation bei Schulterinstabilität, Sharkey und Marder (1995) bedienten sich der entsprechenden Methode zur Messung der Translation nach kranial. Paletta et al. setzte 1997 ebenfalls genannte Technik ein. Die bisher angeführten Autoren nahmen ihre Messungen an konventionellen Röntgenaufnahmen vor. Graichen et al. maßen die Translation in der sagittalen Ebene anhand von 3D-rekonstruierten MRT-Bildern. Der Vorteil der Kernspintomographie gegenüber Röntgenaufnahmen und der Computertomographie besteht darin, Schnittebenen beliebig wählen zu können. Somit wurde zur Messung der superior-inferioren Translation eine Ebene im Verlauf des M.supraspinatus gewählt, auf welcher sowohl der Humeruskopf als auch das Glenoid in gesamtem Querschnitt zu sehen war. Da die Flash-2D-Sequenzen nur wenige Sekunden Meßzeit benötigten, hatte der Untersucher nach den ersten Messungen immer noch die Möglichkeit, die Einstellung der Ebene zu optimieren. Die ideale axiale Schicht zur Messung der antero-posterioren Translation verläuft senkrecht zur Gelenkfläche des Glenoids und durch dessen Mitte (Kiss et al. 1997). Dies konnte mit Hilfe eines vorher angefertigten Scouts eingestellt werden.

4.3.3.1 Antero-posteriore Translation bei Belastung

Sowohl an Leichenschultern (Wülker et al. 1994, Harryman et al. 1990, O'Brien et al. 1995, Pagnani et al. 1995, Kelkar et al. 1992) als auch an Patienten bzw. Probanden (Paletta et al. 1997, Howell et al. 1988, Kiss et al. 1996, Georgousis et al. 1995, Debski et al. 1995, Graichen et al. 2000) wurde das Thema der Translation in der horizontalen Ebene in unzähligen Variationen behandelt. Harryman stellte eine anteriore Translation bei Flexions- und Hyperadduktionsbewegungen fest, Extension und Außenrotation führten in seinen Versuchen zu einer Translation nach posterior. Pagnani präparierte seine Versuchsobjekte, indem er das vordere Labrum und damit den Bizepsanker ablöste und erhielt somit eine maximale anteriore Translation von 6 mm in 45° Abduktion und Neutralrotation. Eine Studie von O'Brien et al. an Leichenschultern zeigt unter Anwendung einer horizontalen Kraft von 25 N die größtmögliche Translation in beide Richtungen in 90° Abduktion und neutraler Rotation. Die These, eine Translation entstehe durch Verwindung oder Anspannung der Kapsel in den Endpositionen

bestimmter Bewegungen, wird durch folgende Autoren bestätigt. Howell et al. untersuchte anhand axialer Röntgenaufnahmen die Translation bei Bewegung in der Horizontalebene. Seine Ergebnisse zeigten eine posteriore Translation von 4 mm bei extremer Außenrotations- und Extensionsstellung, in allen übrigen Positionen blieb der Humeruskopf zentriert. Bowen et al. bestätigte diese Aussage der posterioren Translation bei extremer Außenrotation. Eine posteriore Translation bei Innenrotation dagegen stellten Kiss und MacNally anhand axialer kernspintomographischer Schnittbilder fest; Außenrotation und Überkopf-Position des Arms führten zu keinem signifikanten Ergebnis. Patienten mit Rotatorenmanschetten-Rupturen werden in einer Studie von Paletta mit Hilfe von Röntgenbildern untersucht. Seiner Aussage nach führen bei 90° Abduktion weder Flexions- / Extensions- noch Rotationsbewegungen zu einer signifikanten anterioren Translation. Bei maximaler Abduktion in Skapulaebene kommt es jedoch bei 100% der untersuchten Personen zu einer superioren Dislokation des Humeruskopfes. Dem Untersuchungsprotokoll vorliegender Studie am ähnlichsten ist eine Arbeit von Wülker et al., der die Gleitbewegung des Humeruskopfes auf dem Glenoid bei Abduktion des Arms betrachtet. Während der Abduktion von 20 bis 90 Grad errechnet er eine mittlere anteriore Translation von 4,4 mm +/- 1,3 mm. Die Kraft, die er den Muskeln der Leichenschultern während der Abduktion zuschreibt, wählt er gemäß der jeweiligen Querschnittsfläche. Diese Kraft wird während der gesamten Abduktion beibehalten. Angesichts der Komplexität des Ablaufs einer Abduktion mit ständig variierenden Hebelarmen und Kraftvektoren ist jedoch die Übertragbarkeit auch dieses Modells nicht gesichert.

Die enorme Variabilität der Ergebnisse zeigt auch eine Studie von Kelkar et al., der ebenfalls an einem Leichenmodell nur eine minimale Translation bei Abduktion in der Skapulaebene fand.

Die Auswertung der kernspintomographischen Bilder in transversaler Ebene zeigten bei keinem Patienten oder Probanden vorliegender Studie die Tendenz zur Dezentrierung nach ventral oder dorsal. Vorausgegangene Luxationen oder eine allgemeine Laxizität der Schulter waren ebenfalls bei keinem der Patienten bekannt. Durch den Vergleich der Translation vor und nach Belastung sollte herausgefunden werden, ob eine muskuläre Imbalance der Patienten, insbesondere bei Beteiligung des M.infraspinatus oder M.subscapularis, durch Anspannung der Muskulatur bei Belastung zu einer eindeutigen Translation nach anterior oder posterior führt.

Die maximalen Werte für die anteriore bzw. posteriore Translation betragen 3 bzw. 2 Millimeter ohne signifikanten Unterschied zwischen Patienten und Probanden. Betrachtet man die Gesamtheit der untersuchten Personen, ist festzustellen, daß eine posteriore Translation sowohl in 45° als auch in 90° Abduktion bei nur 19 bzw. 16% der untersuchten Personen auftritt. Auffallend ist, daß der Humeruskopf des postoperativen Kollektivs in beiden Abduktionsstellungen in 50% bzw. 63% keine Translationsbewegung zeigt. Dies ist möglicherweise erklärbar durch eine Kapselschrumpfung als Folge der postoperativen Schonhaltung des betroffenen Arms. In Abduktion ohne Rotationskomponente führt diese zu einem engen Kontakt zwischen den Gelenkkörpern, die somit aneinandergedrückt werden. Den Ergebnissen von Harryman zufolge kann in diesen Fällen aufgrund der früheren Anspannung der Kapsel bei Extensions- oder Flexionsbewegungen mit einem ebenso frühzeitigen Beginn der Translation gerechnet werden.

In der Gruppe der Probanden zeigen mehr als die Hälfte (56%) eine anteriore Translation, die übrigen Probanden verteilen sich gleichmäßig auf die beiden anderen Kategorien. Die Ergebnisse vorliegender Studie lassen keinen Zusammenhang zwischen dem Rupturausmaß, der Diagnose eines Humeruskopf-Hochstandes oder dem funktionellen Resultat und der Größe bzw. der Richtung der Translation bei Belastung feststellen. Rotatorenmanschetten-Rupturen sind demnach nicht mit einer abnormen Instabilität in antero-posteriorer Richtung verbunden. Eine variable Translation im Ausmaß von 2-3 mm in oben genanntem Umfang tritt auch beim gesunden Kollektiv auf und ist nicht als pathologisch zu bewerten.

4.3.3.2 Superior-inferiore Translation

Die Zielsetzung vorliegender Studie bestand darin, durch die Untersuchung eines präoperativen und postoperativen Kollektivs herauszufinden, ob in den jeweiligen Kollektiven eine veränderte kraniale Dezentrierung zu beobachten ist, und einen möglichen Zusammenhang zwischen der Rupturgröße bzw. der Anzahl der beteiligten Muskeln und dem Ausmaß der superioren Translation des Humeruskopfes festzustellen.

Die Ergebnisse der hier präsentierten Studie ergeben bei der Kontrollgruppe eine Tendenz der kranialen Dezentrierung sowohl bei Abduktion von 45 Grad bis 90 Grad,

als auch bei zusätzlicher Belastung. Dies steht in Einklang mit den Veränderungen des Subakromialraumes, welcher bei Zunahme der kranialen Dezentrierung erwartungsgemäß an Höhe verliert. Wie bereits bei der Analyse des SAR nahmen auch hier die Untergruppen der großen Rupturen bzw. Rerupturen eine Sonderstellung ein. Eine Übereinstimmung bestand insofern, als sowohl die Patienten mit Mehr-Sehnen-Rupturen des präoperativen Kollektivs als auch die postoperativen Patienten mit Rerupturen sowohl in 45° als auch in 90° Abduktion eine kraniale Dezentrierung aufwiesen, die sich mit dem Ergebnis eines Humeruskopf-Hochstandes und dem eines geringen SAR vereinbaren läßt.

Der Ausnahme eines präoperativen und eines postoperativen Patienten der jeweiligen Untergruppen, deren Humeruskopf in 90° Abduktion zentrierte, könnte folgende Erklärung zugrunde liegen: Der M.deltoidaeus kompensiert den Funktionsverlust der übrigen Abduktoren durch eine Kraftsteigerung seines mittleren Anteils. Vor allem zu Beginn der Abduktion bis etwa 30 bis 40 Grad muß er dazu bei Funktionsverlust des M.supraspinatus etwa die doppelte Kraft aufbringen, bei weiterer Abduktion nimmt der Mehraufwand des Deltamuskels wieder entscheidend ab (Thompson et al., 1996). Aufgrund seines Hebelarms zieht der M.deltoidaeus den Humeruskopf gegen das Schulterdach. Der günstigere Hebelarm in 90° Abduktion einerseits und der verringerte Krafteinsatz des Deltamuskels andererseits vermindern die Translationskräfte nach kranial bei Abduktion von 90°. Diese Tatsache ermöglicht den übrigen Muskeln des Schultergürtels, die kompensatorisch eingesetzt werden, eine gewisse Rezentrierung. Für die abnehmenden Scherkräfte des Deltamuskels spricht auch die jeweils in 45°, jedoch nicht in 90° Abduktion signifikant größere kraniale Dezentrierung im Vergleich zu den übrigen Patienten und Probanden.

Eine zusätzliche Belastung der Patienten mit Rerupturen führt in den jeweiligen Abduktionsstellungen zu keiner weiteren Veränderung. Durch die bereits ohne Belastung bestehende extreme Dezentrierung ist eine weitere Kranialisierung des Humeruskopfes nicht möglich. Auch in der Untergruppe der Patienten ohne Reruptur erfolgt in 50% der Fälle keine weitere Veränderung bei Belastung. Die Patienten des präoperativen Kollektivs dagegen tendieren im Mittel zu einer diskreten Translation nach kranial bei Belastung. Möglicherweise minimieren operationsbedingte Vernarbungen eine Translationbewegung bei postoperativen Patienten.

Zur Veranschaulichung der Übereinstimmungen und der Differenzen mit den Ergebnissen anderer Autoren werden diese im Folgenden dargelegt.

Die Biomechanik bei Abduktion einer gesunden Schulter wurde bereits mehrfach beschrieben. Poppen und Walker (1976) ermitteln in einem Normalkollektiv eine initiale superiore Translation von 3 mm bei Abduktion bis 30°. Im weiteren Verlauf der Bewegung findet ihren Ergebnissen zufolge bei jeweils 30° Abduktion lediglich eine Translation von 1,09 mm statt. Auch Jacqueline Perry (1988), die bereits dem M.infraspinatus und M.subscapularis eine bedeutende Rolle bei der Zentrierung des Humeruskopfes zuschrieb, bestätigte das Ergebnis von Poppen und Walker anhand eines gesunden Kollektivs. Eine maximale superiore Dezentrierung von 3,1mm +/- 0,2mm bei 45° Abduktion ist das Ergebnis einer Studie von Debski et al (1995). Wülker et al. (1994) beschreiben in einer Studie an Leichenschultern eine kraniale Translation von insgesamt 9,0 mm +/- 5,2 mm bei einer Abduktion von 0 bis 90 Grad, wobei diese zum Großteil zwischen 20 und 30 Grad stattfindet und dabei sehr variabel ist. Wülker räumt ein, daß die enorme Dezentrierung seines Versuchsmodells durch die koordinierte Muskelaktivität eines lebenden Objekts mit großer Wahrscheinlichkeit vermindert würde. Einige Autoren betrachten eine Schwäche der Rotatorenmanschette, sei es durch ein Engpaßsyndrom des N.suprascapularis (Eulert und Hedtmann 1996) oder infolge einer chronischen Überbeanspruchung (Deutsch et al, 1996), als Grund für eine superiore Translation des Humeruskopfes, welche sekundär zur Impingement-Symptomatik und dadurch zu Läsionen der Sehnen führt. Deutsch et al. kommt zu diesem Ergebnis aufgrund einer Studie an Patienten mit Impingement-Symptomatik im Stadium 2, d.h. mit intakter Manschette, und an einem Kollektiv mit nachgewiesenen RM-Rupturen. Der Vergleich mit einem Kontrollkollektiv zeigt eine signifikante kraniale Dezentrierung des Humeruskopfes beider Patientengruppen in 0° Abduktion. Untereinander unterscheiden sich die Patientengruppen in Neutralposition nicht. Im Verlauf der Abduktion kommt es in der „Impingement-Gruppe“ zu einer gleichmäßigen kranialen Translation, signifikant größer als die der Kontrollgruppe. Die Patienten mit rupturierter Manschette zeigen nur während der Abduktion bis ca. 40° eine signifikant vermehrte Translationsbewegung. Aufgrund der Ergebnisse schlagen die Autoren als konservative Therapie des Impingement-Syndroms eine Stärkung der Rotatorenmanschette vor, insbesondere des M.infraspinatus und M.subscapularis als primäre Depressoren des Humeruskopfes. Im Unterschied zu der hier vorgestellten Studie führt laut Deutsch bereits eine Schwächung der Depressoren, die auch als Folge einer beginnenden Schädigung des M.supraspinatus auftreten kann, und nicht erst deren Ruptur zu einer

Kranialisierung des Humeruskopfes. Diese kann nun sekundär eine Läsion der Rotatorenmanschette verursachen.

Auch R. Kölbl (1996) gibt als Theorie zur Entstehung von Rotatorenmanschettenläsionen primär degenerative Veränderungen innerhalb der Sehne als Ursache an, welche Schmerzen auslösen. Diese Schmerzen hemmen die Innervation des betroffenen Muskels und stören dadurch das Kräftegleichgewicht zwischen dem Deltamuskel und der Rotatorenmanschette. Das Höherentreten des Humeruskopfes führe sekundär zu Rupturen der Rotatorenmanschette.

Nirschl (1989) betrachtet eine Ermüdung und Schwäche des M.supraspinatus als Folge einer repetitiven Überlastung, z.B. bei Über-Kopf-Arbeiten oder Sportlern. Der dadurch bedingte Verlust des biomechanischen Gleichgewichts führe zu einem Humeruskopfhochstand. Die Sehnenläsion trete erst als Folge des Impingement auf.

Die Ergebnisse vorliegender Studie zeigen dagegen erst dann eine kraniale Dezentrierung, wenn der M.infraspinatus auch eine morphologische Schädigung aufweist. Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Deutsch et al. besteht in der Anerkennung des M.infraspinatus als entscheidender Akteur bei der Zentrierung des Humeruskopfes. Auch Thompson et al. (1996) betont die Funktion der transversalen Muskeln der RM-Manschette als wichtigste Depressoren des Humeruskopfes. In einer Studie an Leichenschultern untersucht er die Translation bei Abduktion der normalen Schulter sowie bei Paralyse des M.supraspinatus und bei Rupturen zunehmender Größe. Die Inaktivität des M.supraspinatus führt neben einem enormen Kraftanstieg des Deltamuskels zu einer geringen superioren Translation bis etwa 15° Abduktion, danach findet eine Rezentrierung statt. Rupturen des M.supraspinatus zeigen ein ähnliches Bild. Auch hier kompensiert der Deltamuskel den teilweisen Ausfall des M.supraspinatus vor allem in unteren Abduktionsstellungen bis etwa 30°, in welchen auch die größte kraniale Translation nachzuweisen ist. Die Translation des Normalkollektivs beträgt dagegen weniger als 2 mm in allen Ebenen. Die hier präsentierte Studie bestätigt die Ergebnisse von Thompson et al. insofern, als bei alleiniger Beteiligung des M.supraspinatus keine abnorme Kinetik bei Abduktion festzustellen ist. Der Einsatz von zusätzlichen Muskeln des Schultergürtels, eventuell auch eine Rumpfeigung oder eine vermehrte Bewegung im Scapulothorakal-Gelenk, aber auch Schmerz und eine veränderte Propriozeption führt in vivo zu einer komplexen Kompensation des gestörten Bewegungsmusters, welche bei Studien am isolierten Schultergelenk nicht berücksichtigt werden kann. Auf einige dieser

zahlreichen Störfaktoren, die bei vorliegender Studie nicht immer kontrolliert werden konnten, ist wahrscheinlich die relativ große Variabilität der Ergebnisse zurückzuführen.

Paletta et al. (1997) untersucht den Zusammenhang zwischen der Rupturgröße und dem Translationsausmaß. Die Messungen anhand von Röntgenbildern ergeben in 100% der Patienten mit RM-Rupturen eine kraniale Dezentrierung in mindestens einem von fünf Abduktionsgraden, wobei in 90° Abduktion 80% der Patienten eine Dezentrierung aufweisen. Das Kontrollkollektiv dagegen zeigt eine Translation nach kaudal bzw. eine Zentrierung. Zwischen der Größe der Ruptur und der Translation besteht seiner Aussage nach keine Korrelation. Anzuführen ist, daß Paletta bei seiner Einteilung die Beteiligung des M.infraspinatus nicht getrennt berücksichtigt.

Anhand der Ergebnisse vorliegender Studie und unter Berücksichtigung früherer Untersuchungen liegt der Schluß nahe, daß bei Ruptur einer Sehne der Rotatorenmanschette keine wesentlichen Veränderungen der Biomechanik auftreten. Die zusätzliche Beteiligung des M.infraspinatus führt sowohl präoperativ als auch im Sinne einer postoperativen Reruptur zu einer kranialen Dezentrierung des Humeruskopfes. Demnach ist der Humeruskopfhochstand erst die Folge einer ausgedehnten Läsion, welche mindestens zwei Sehnen betrifft. Die Aussage, biomechanische Veränderungen würden bereits vor Entstehen einer Sehnenruptur auftreten, kann somit nicht bestätigt werden.

4.4 Der Constant-Score

Zur Beurteilung des funktionellen Ergebnisses einer Schulteroperation müssen sowohl objektive als auch subjektive Aspekte in Betracht gezogen werden. Constant and Murley entwickelten 1985 mit dem sogenannten Constant's Score eine Methode, mit welcher der klinische Zustand einer Schulter reproduzierbar ermittelt werden kann. Bei prä- und postoperativer Befunderhebung ist eine objektivierbare Verlaufsbeobachtung möglich. Der Teil des Fragebogens, welcher vom Patienten selbst ausgefüllt wird, enthält Aussagen über Schmerz und über die subjektive Einschätzung der Beeinträchtigung bei Aktivitäten im täglichen Leben. Bei der Beurteilung eines operativen Ergebnisses sind diese Informationen unerlässlich, da auch das beste

anatomische Resultat dem Patienten keinen Nutzen bringt, leidet dieser unter ständigen starken Schmerzen. Der zweite Abschnitt des Tests wird durch einen Untersucher durchgeführt. Hierbei werden aktive Bewegungsausmaße der oberen Extremitäten gemessen, sowie die Kraft des Patienten bei 90° abduziertem und in der Skapulaebene flektiertem Arm. Um ein reproduzierbares Ergebnis zu erhalten, wird letztere Messung dreimal vorgenommen und der Mittelwert gebildet.

Gazielly et al. untersuchten in einer Studie an 98 Patienten mit 100 kompletten Rotatorenmanschetten-Rupturen den Zusammenhang zwischen dem morphologischen Zustand der Manschette sowohl prä- als auch postoperativ, und dem funktionellen Ergebnis der Operation. Hierzu ermittelten sie vor und nach der operativen Rekonstruktion den Constant-Score und verglichen diesen mit dem intraoperativ erhobenen Befund und mit dem postoperativen sonographischen Bild der Rotatorenmanschette. Die Nachuntersuchung fand mindestens zwei Jahre nach dem Eingriff statt. Die Studie ergab eine hohe Korrelation des Scores sowohl mit dem Ausmaß einer postoperativen Reruptur ($p=0,0001$) als auch mit der Rupturgröße zum Zeitpunkt der Operation ($p=0,0012$). Hinzuzufügen bleibt, daß die Inzidenz und die Größe einer postoperativen Reruptur abhängig sind vom Ausmaß der Primärläsion.

In vorliegender Studie wurde die ermittelte Punktzahl gemäß einer Tabelle mit alters- und geschlechtsabhängigen Normwerten in den jeweiligen Prozentwert des Normwertes umgerechnet.

Bei den Patienten des präoperativen Kollektivs wurde am Tag der stationären Aufnahme der Constant-Score ermittelt. Da die Dauer bis zum Erreichen der maximalen Kraft nach einer Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion mehr als ein Jahr betragen kann (Walker et al. 1987), war eine Verlaufsbeobachtung dieser Patienten zum Zeitpunkt der Datenerhebung nicht sinnvoll. Der Mittelwert des bei 12 Patienten erhobenen Constant-Scores betrug 55,9% (20,6%-92,4%). Die Auswertung der Ergebnisse in Abhängigkeit vom Ausmaß der intraoperativ festgestellten Ruptur zeigt eine deutliche Abnahme des Scores bei gleichzeitiger Zunahme der Rupturgröße. Die Korrelation ist nicht signifikant ($p>0,05$). Diese Feststellung stimmt mit den Ergebnissen der Studie von Gazielly et al. überein.

Bei 15 der 18 Patienten des postoperativen Kollektivs wurde der Constant-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung erhoben. Da diese durchschnittlich 73 Wochen nach der Operation stattfand, kann davon ausgegangen werden, daß die Patienten ihre maximal erreichbare Kraft wiedererlangt hatten, es sei denn, eine Reruptur der Manschette hinderte sie daran. Mit einem Mittelwert von 73,7% (26,6% - 103,6%)

zeigte das postoperative Kollektiv ein deutlich besseres funktionelles Ergebnis als die Gruppe vor der operativen Rekonstruktion. Die Differenzierung nach dem arthrographischem Befund einer intakten Manschette bzw. einer Reruptur ergab 80,1 gegenüber 56,0% einen offensichtlichen, jedoch nicht signifikant geringeren Score im Falle einer aufgetretenen Reruptur. Knudsen et al. untersuchten 1999 eine Gruppe von 31 Patienten nach Rotatorenmanschettenrekonstruktion. Kernspintomographisch diagnostizierten sie 10 Rerupturen (32%) und 21 (68%) intakte oder ausgedünnte Sehnen. Mit einem Constant Score von 62 gegenüber 75,5% stellten sie in Übereinstimmung mit den Ergebnissen vorliegender Studie kein signifikant besseres funktionelles Resultat der Patienten mit intakter Manschette fest.

4.5 Die Bildbeurteilbarkeit

Die Beurteilung eines Kernspintomogramms der Schulter nach vorangegangenem operativem Eingriff wird durch verschiedene Faktoren erschwert. Autoren, die sich mit der Diagnostik postoperativer Rotatorenmanschetten befassen, berichten übereinstimmend über Artefakte, die in erster Linie durch Metallabrieb bei der Verwendung von Operationszubehör zur Akromioplastik nach Neer oder beim Anlegen einer Nut zur intraossären Verankerung der Sehne entstehen (Rand et al. 1996, Magee et al. 1997, Owen et al. 1993, Gusmer et al. 1995). Diese stellen sich in allen Sequenzen als hypointense, ovaläre bis noduläre Strukturen dar und machen die exakte Beurteilung der Manschette teilweise unmöglich (Rand et al. 1996). Besonders ausgeprägt zeigen sich diese Artefakte in Gradienten-Echo-Sequenzen, welche vor allem bei der Beurteilung des Labrums zur Anwendung kommen. Auch exzessive Vernarbungen, kernspintomographisch als Bereiche heterogener Signalintensität, können die Diagnose beeinträchtigen. Die Nahtstelle der Sehne weist gewöhnlich lokalisierte Bereiche erhöhter Signalintensität auf, die schwer von den Zeichen einer partiellen Reruptur zu unterscheiden sind.

Die Patienten oben genannter Studien wurden frühestens sechs Monate nach dem Eingriff kernspintomographisch untersucht. Dabei waren die Artefakte und die Signalveränderungen durch Vernarbungen deutlich zu erkennen, dennoch konnte die Rotatorenmanschette mit hoher Treffsicherheit beurteilt werden. Lediglich partielle

Rupturen konnten nicht von Vernarbungen im Bereich der Nahtstelle differenziert werden.

Die Patienten des postoperativen Kollektivs nahmen an zwei kernspintomographischen Nachuntersuchungen teil. Die erste fand durchschnittlich sieben Wochen nach dem operativen Eingriff statt (6 – 66 Wochen), die folgende Untersuchung wurde nach 72,8 Wochen durchgeführt (56,5 – 151 Wochen). Bei der Befunderhebung gab der Radiologe zu jeder kernspintomographischen Untersuchung seine subjektive Einschätzung der Beurteilbarkeit der Bilder an. Dabei wurde darauf geachtet, daß ihm bei der Einteilung der Bilder der zweiten Untersuchung das Ergebnis der ersten nicht bekannt war.

Die kernspintomographischen Bilder der ersten Nachuntersuchung ergaben in 43% der Fälle eine mit einer 4 benotete Beurteilbarkeit, keinem Patienten wurde die Note 1 zugeteilt. Hinzuzufügen ist, daß die Messungen an einem Niederfeldgerät (0,2 Tesla) durchgeführt wurden, und somit aufgrund der gerätebedingten Qualitätsunterschiede kein exakter Vergleich mit den Bildern eines Hochfeldgerätes gezogen werden konnte. Die schlechte Benotung der Bilder ist jedoch meist auf Metallartefakte und in einem Fall auf Bewegungsartefakte zurückzuführen. Dagegen wurden 12 der 17 Untersuchungen der zweiten Nachuntersuchung als sehr gut beurteilbar bezeichnet. Die Bilder von fünf der 14 Patienten, die an beiden Untersuchungen teilnahmen, wurden bei letzterer sogar drei Kategorien höher eingestuft. Der Grund für die Verbesserung der Bildqualität liegt vor allem an den im Laufe eines Jahres abnehmenden operationsbedingten Artefakten. Die Organisation des Narbengewebes ist teilweise verantwortlich für die Homogenisierung des Signals innerhalb der Sehne. Die deutliche Reduzierung der Metallartefakte ist möglicherweise bedingt durch den Abtransport des mikrofeinen Abriebs durch Makrophagen.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird ersichtlich, daß eine kernspintomographische Untersuchung der Schulter nach einer Rotatorenmanschettenrekonstruktion erst nach einem Zeitraum von mindestens sechs Monaten postoperativ sinnvoll erscheint. Sehr gute Beurteilbarkeit ist in der Regel nach einem Jahr zu erwarten.

5. Zusammenfassung

Rotatorenmanschettenrupturen stellen ein häufig auftretendes Krankheitsbild in der Bevölkerungsgruppe der „Über-40-Jährigen“ dar und führen in vielen Fällen bis zur Arbeitsunfähigkeit. Die führenden Methoden in der Diagnostik der Rotatorenmanschette sind neben der klinischen Untersuchung die Kernspintomographie und die Sonographie.

Bei einem Vergleich der Aussagekraft beider Methoden wurden Untersuchungen an präoperativen und postoperativen Patienten durchgeführt. Das Kontrollkollektiv stellte eine Gruppe gesunder Probanden dar.

Die Ergebnisse zeigen eine ausgezeichnete Sensitivität (92,9%) und Spezifität (84,2%) der Sonographie in der Erkennung von Rupturen der Rotatorenmanschette. Die Abnahme der Sensitivität (71,4%) bei Differenzierung der Läsionen in partielle und komplette Rupturen verdeutlicht die diagnostische Unsicherheit der Sonographie in diesem Bereich. Bei der Beurteilung der postoperativen Rotatorenmanschette blieben kleine Läsionen aufgrund der Inhomogenität des Echomusters unerkannt, größere Rupturen wurden in allen Fällen diagnostiziert.

Die Treffsicherheit der Kernspintomographie ergibt mit 78,6% für die Diagnose einer Ruptur, (64,3% bei Differenzierung dieser in partiell und komplett) eine geringere Sensitivität, jedoch mit 89,5% eine höhere Spezifität als die Sonographie. Die Untersuchungen wurden an einem Niederfeldgerät (0,2 Tesla Magnetom Open) durchgeführt, dessen geringere Auflösung im Vergleich zu den in der Schulterdiagnostik standardmäßig eingesetzten Kernspintomographen mit 1,5 Tesla zu einer verminderten Bildqualität und damit zu einer Abnahme der Treffsicherheit führt.

In der Diagnostik der postoperativen Rotatorenmanschette erweist sich die Kernspintomographie als ein überaus spezifisches Verfahren. Postoperative Strukturveränderungen der Sehne sowie Artefakte durch Metallabrieb erschweren die Diagnostik innerhalb des ersten postoperativen Jahres. Nach dieser Zeit ist jedoch bereits die Differenzierung einer nicht wasserdicht verschlossenen von einer rerupturierten Manschette möglich.

Die rasche Durchführbarkeit und die Möglichkeit zur Mitbeurteilung der kontralateralen Schulter ohne erheblichen Mehraufwand sprechen angesichts der hohen Treffsicherheit für den Einsatz der Sonographie als bildgebendes Verfahren bei Schulterschmerz. Konventionelle Röntgenaufnahmen in standardisierten Ebenen zur Beurteilung der knöchernen Strukturen bleiben ebenfalls Bestandteil der

Primärdiagnostik. Unbestritten bleibt jedoch, daß die Aussagekraft der Sonographie in hohem Maße von der Erfahrung des Untersuchers abhängig ist.

Hinsichtlich der Beurteilung von Sekundärpathologien stellt die Kernspintomographie die einzige Methode dar, welche neben der Rotatorenmanschette auch Knochen und umgebende Weichteile exakt abbilden kann. Der im Vergleich zur Ultraschalluntersuchung höhere zeitliche und finanzielle Aufwand sowie die geringere Verfügbarkeit dieser Untersuchung beschränkt die Indikation auf Fälle, bei welchen eine Diskrepanz zwischen klinischem und sonographischem Befund besteht. Für die Diagnostik ab etwa einem Jahr postoperativ ist die Kernspintomographie das Verfahren mit der höchsten Aussagekraft.

Das dritte in vorliegender Studie angewandte Verfahren, die konventionelle Arthrographie, kommt als invasives Verfahren im klinischen Alltag nur noch selten zur Anwendung. Bei der Diagnostik der postoperativen Schulter werden Rupturen ebenso wie klinisch unbedeutende kontrastmitteldurchlässige Defekte der Sehne präzise dargestellt.

Für die Beurteilung inkompletter Rupturen weist keines der bildgebenden Untersuchungsverfahren eine zufriedenstellende Sensitivität auf, wobei die klinische Relevanz dieser detaillierten Fragestellung umstritten bleibt.

Eine Theorie zur Entstehung der Rotatorenmanschettenruptur betrachtet einen pathologisch veränderten Bewegungsablauf der Schulter, z.B. bedingt durch eine muskuläre Imbalance, als Ursache für rezidivierende Mikrotraumen der Manschette, welche dann letztendlich zu einer Ruptur führen können. Nach Meinung vieler Autoren führt wiederum die Läsion einer oder mehrerer Sehnen zu einer veränderten Biomechanik. Denn zum einen resultiert bei Verlust einer Sehne eine Veränderung der Kräfteverhältnisse am Gelenk, zum anderen setzt der Patient Kompensationsmechanismen bzw. Schonhaltungen ein, um Schmerzen und Funktionseinbußen zu minimieren.

Vorliegende Arbeit untersucht anhand von Patienten- und Probandenkollektiven mit rupturierten und intakten Rotatorenmanschetten, inwieweit sich bei unterschiedlichen Ausmaßen von Rotatorenmanschettenrupturen während einer passiven oder aktiven Abduktion des Armes eine Änderung der Biomechanik feststellen läßt. Bisherige Studien zu diesem Thema benötigten dazu zahlreiche Röntgenbilder (Poppen und Walker, 1976; Paletta et al. 1997), wobei projektionsbedingte Überlagerungen nicht berücksichtigt wurden. Andere Autoren entwickelten anhand von Leichenversuchen ein

dynamisches Schultermodell (Wülker et al. 1994, Thompson et al. 1996). Da jedoch die exakte Verteilung der einzelnen Muskelkräfte während der Abduktion nicht gänzlich geklärt ist, sind die Ergebnisse dieser Modelle nicht zuverlässig auf die Verhältnisse in vivo übertragbar. Bei Untersuchungen an einem offenen Kernspintomographen (Magnetom Open, Siemens) wurden erstmals Verhältnisse geschaffen, welche die aktive und passive Abduktion des Armes möglichst realitätsnah simulierten. Dabei wurde die Schulter in verschiedenen Abduktionsstellungen unter Belastung durch eine nach kaudal gerichtete Kraft untersucht. Die Abbildung einer kontinuierlichen Abduktionsbewegung war auch bei diesem Versuchsaufbau nicht möglich.

Die Ergebnisse der dynamischen Untersuchung zeigen, daß Rupturen des M.supraspinatus alleine zu keiner signifikanten Veränderung des Bewegungsablaufs führen. Eine zusätzliche Beteiligung des M.infraspinatus dagegen verursachte sowohl im prä- als auch im postoperativen Kollektiv eine signifikante Verringerung des Subakromialraumes, gleichbedeutend einem Humeruskopfhochstand. Bei zusätzlicher Belastung in den jeweiligen Abduktionsstellungen zeigte sich bei diesen Patienten keine weitere signifikante Translation.

Diese Ergebnisse verdeutlichen die Rolle des M.infraspinatus, dessen Funktionsdefizit ein permanentes Höherentreten des Humeruskopfes zur Folge hat. Dies wird durch Studien anderer Autoren bestätigt, welche den M.infraspinatus zusammen mit dem M.subscapularis als primäre Depressoren des Humeruskopfes bezeichnen (Nove-Josserand et al. 1996, Sharkey et al. 1994, Thompson et al. 1997).

Anhand vorliegender Ergebnisse besteht kein Hinweis auf die Bestätigung der These, biomechanische Veränderungen würden zeitlich vor morphologischen Sehnenläsionen auftreten.

Nicht geklärt werden konnte die Frage, ob die alleinige Ruptur des M.infraspinatus ebenfalls zu einem Höherentreten des Humeruskopfes führen würde. Da isolierte Rupturen der Infraspinatussehne eine Rarität sind, wird diese Frage unbeantwortet bleiben.

Sowohl in der präoperativen Diagnostik als auch in der Beurteilung postoperativer Rotatorenmanschetten besitzt die Kernspintomographie einen herausragenden Stellenwert. Durch die dynamische Untersuchung konnte die oft vernachlässigte Bedeutung des M.infraspinatus hervorgehoben werden, dessen Rekonstruktion bzw. Stärkung anzustreben ist, bevor es zu einer weiteren Störung der Biomechanik kommt. Die dynamische Kernspintomographie stellt somit eine wertvolle Methode zur Untersuchung physiologischer und pathologischer Bewegungsabläufe der Schulter dar.

6. Literaturverzeichnis

- [1]: Bellumore Y, Mansat M, Assoun J: Results of the surgical repair of the rotator cuff. Radio-clinical correlation. Rev. Chir. Orthop. Reparatrice Appar. Mot. 80(7): 582-94, 1994

- [2]: Blauth W, Gärtner J: Ergebnisse postoperativer Arthrographien nach Naht rupturierter Rotatorenmanschetten. Orthopäde 20: 262-265, 1991

- [3]: Bowen MK, Warner JJP, Deng XH, Torzilli PA, Warren RF: Kinematics of the glenohumeral joint: coupled translation-rotation. Personal Communication

- [4]: Bretzke CA, Crass JR, Craig EV, Feinberg SB: Ultrasonography of the rotator cuff: normal and pathologic anatomy. Investigative Radiology 20: 311-315, 1985

- [5]: Burk DL, Karasick D, Kurtz AB, Mitchell DG, Rifkin MD et al.: Rotator cuff tears: Prospective comparison of MRI with arthrography, sonography surgery. AJR 153: 87-92, 1989

- [6]: Calvert PT, Packer NP, Stoker DJ, Bayley JIL, Kessel L: Arthrography of the shoulder after operative repair of the torn rotator cuff. J Bone and Joint Surgery 68-B: 147-150, 1986

- [7]: Cammerer U, Habermeyer P, Plenk A, Huber R: Die sonographische Beurteilung rekonstruierter Rotatorenmanschetten. Unfallchirurg 95: 608-612, 1992

- [8]: Codman EA: The shoulder: Rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. Boston, Thomas Todd, 1934

- [9]: Cofield RH: Rotator Cuff Disease of the shoulder. J Bone Joint Surg (A) 6: 974-979, 1985

- [10]: Cotton RE, Rideout DF: Tears of the humeral rotator cuff. A radiological and pathological necropsy survey. *J Bone Joint Surg (Br)* 46: 314-28, 1964
- [11]: Craig EV, Crass JR, Bretzke CL: Ultrasonography of the rotator cuff: normal anatomy and pathologic variation. Third Annual Meeting of the American Shoulder and Elbow Surgeons, Boston, November 1-4, 1984 (abstr.); zitiert aus: Mack LA, Matsen FA, Kilcoyne RF, Davies PK, Sickler ME: US evaluation of the rotator cuff. *Radiology* 157: 205-209; 1985
- [12]: Crass JR: Sonographie der Rotatorenmanschette. In: Stuhler T, Feige A (Hrsg) *Ultraschalldiagnostik des Bewegungsapparats*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1987. Zitiert aus: Milbradt H, Rosenthal H: *Sonographie des Schultergelenks: Untersuchungstechnik, Sonomorphologie und diagnostische Bedeutung*. *Radiologe* 28: 61-68, 1988
- [13]: Crass JR, Craig EV, Feinberg SB: Sonography of the postoperative rotator cuff. *AJR* 146: 561-564, 1986
- [14]: Constant CR, Murley AHG: A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin. Orthop. and Related Research* 214: 160-164, 1987
- [15]: Cotton RE, Rideout DF: Tears of the humeral rotator cuff. A radiological and pathological necropsy survey. *J Bone Joint Surg (Br)* 46: 314-28, 1964
- [16]: Debsky RE, McMahon PJ, Thompson WO, Woo SL-Y, Warner JJP, Fu FH: A new dynamic testing apparatus to study glenohumeral joint motion. *J.Biomechanics* 28: 869-874, 1995
- [17]: Deutsch A, Altchek DW, Schwartz E, Otis JC, Warren RF: Radiologic measurement of superior displacement of the humeral head in the impingement syndrome. *J. Shoulder Elbow Surg.* 5: 186-193, 1996
- [18]: Drakeford MK, Quinn MJ, Simpson SL, Pettine KA: A comparative study of ultrasonography and arthrography in evaluation of the rotator cuff. *Clin. Orthop. and Related Research* 253: 118-122, 1988

- [19]: Eichner H, Maurer B: Arthrographische Differentialdiagnose des schmerzhaften Schultergelenkes. RÖFO 143: 412-418, 1985. Zitiert aus: Jerosch J: Bildgebende Verfahren in der Diagnostik des Schultergelenkes. Biermann GmbH, Zülpich: 93-104, 1991
- [20]: Eulert J, Hedtmann A: Das Impingement-Syndrom der Schulter. Thieme-Verlag Stuttgart 1996
- [21]: Evancho AM, Stiles RG, Fajman WA, et al.: MR imaging diagnosis of rotator cuff tears. AJR 151: 751-754; 1988
- [22]: Farley TE, Neumann CH, Steinbach LS, Jahnke AJ, Petersen SS: Full-thickness tears of the rotator cuff of the shoulder: diagnosis with MR Imaging. AJR 158: 347-351, 1992
- [23]: Flatow EL, Soslowski LJ, Ticker JB, Powluk RJ, Hepler M, Ark J, Mow VC, Bigliani LU: Excursion of the rotator cuff under the acromion. Am.J Sports Med 22(6): 779-78, 1994
- [24]: Gagey N, Desmoineaux P, Gagey O, Idy-Peretti I, Mazas F: MRI in the preoperative evaluation of lesions of the rotator cuff. Journal of Radiology 1993 Jan; 74(1): 39-46
- [25]: Gazielly DF, Gleyze P, Montagnon C: Functional and anatomical results after rotator cuff repair. Clinical Orthopaedics and Related Research 304: 43-53, 1994
- [26]: Georgousis H, Patsalis T, Ring D: Radiographic glenohumeral joint translation evaluated with a new positioning device. Proceedings 6th International Conference on Surgery of the Shoulder, Helsinki-Stockholm, 1995
- [27]: Ghelman B, Goldman AB: The double contrast shoulder arthrogram: Evaluation of Rotator Cuff Tears. Radiology 124, 251-254, 1977
- [28]: Gohlke F, Müller T: Stellenwert der Sonographie. In: Eulert J, Hedtmann A (Hrsg): Das Impingement-Syndrom der Schulter. Stuttgart. Thieme 1996: 51- 59

- [29]: Golding FC: The shoulder, the forgotten joint. Br J Radiology 35: 149; 1962
- [30]: Goldman AB, Ghelman B: The double contrast shoulder arthrogram. Radiology 127: 655-663, 1978
- [31]: Goldman AB, Dines DM, Warren RF: Shoulder arthrography: technique, diagnosis and clinical correlation. Boston: Little, Brown & Co, 1982; zitiert aus: Calvert PT, Packer NP, Stoker DJ, Bayley JIL, Kessel L: Arthrography of the shoulder after operative repair of the torn rotator cuff. J Bone and Joint Surgery 68-B: 147-150, 1986
- [32]: Goupille P, Anger C, Cotty P, Fouquet B, Soutif D, Valat JP: Value of standard radiographies in the diagnosis of rotator cuff rupture. Rev-Rhum-Ed-Fr. 60(6): 440-4, 1993
- [33]: Graichen H, Bonel H, Stammberger T, Heuck A, Englmeier KH, Reiser M, Eckstein F: A technique for determining the spatial relationship between the rotator cuff and the subacromial space in arm abduction using MRI and 3D image processing. MRM 40: 640-643, 1998
- [34]: Grund Chr., Fa.: PC-Medas, System zur statistischen und graphischen Datenverarbeitung, Margetshöchheim, 1995
- [35]: Gusmer PB, Potter HG, Donovan WD, O'Brien SJ: MR Imaging of the shoulder after rotator cuff repair. AJR 168: 559-563, 1997
- [36]: Hall FM, Rosenthal DI, Goldberg RP, Wyshak G: Morbidity from shoulder arthrography: Etiology, Incidence, and Prevention. AJR 136, 59-62, 1981
- [37]: Harland U: Die Abhängigkeit der Echogenität vom Anschallwinkel an Muskulatur und Sehngewebe. Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete 126: 117-124, 1994
- [38]: Harryman DF, Sidles JA, Clark JM, et al: Translation of the humeral head with passive glenohumeral motion. J Bone Joint Surg 72 A: 1334, 1990

- [39]: Hegmann K: Medical College of Wisconsin; Presentation at the NIOSH-Conference: Ergonomics: effective work place practices and programs, Chicago, Jan. 1997.
- [40]: Hedtmann A, Fett H: Schultersonographie bei Subacromialsyndromen mit Erkrankungen und Verletzungen der Rotatorenmanschette. Orthopäde 24: 498-508, 1995
- [41]: Helweg G, Moriggl B, Sperner G, Golser K, Frauscher F, Sögner P, Frede T, zur Nedden D: Sonographie der Schulter. Radiologe 36: 971-980, 1996
- [42]: Hedtmann, A: Schultersonographie. In: Degenerative Schultererkrankungen. Enke, Stuttgart 1990 (S.37)
- [43]: Hodler J: Diagnostik des Schulterimpingementsyndroms. Radiologe 36: 944-950, 1996
- [44]: Howell SM, Galinat BJ, Renzi AJ, Marone PJ: Normal and abnormal mechanics of the glenohumeral joint in the horizontal plane. Journal Bone Joint Surg 70-A: 227-232, 1988
- [45]: Huber DJ, Sauter R, Mueller E, Requardt H, Weber H: MR imaging of the normal shoulder. Radiology, Feb., 158:2, 405-8, 1986
- [46]: Iannotti 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 73-A: 17-29, 1991
- [47]: Imhoff AB, Hodler J: Correlation of MR imaging, CT arthrography, and arthroscopy of the shoulder. Bull-Hosp-Jt-Dis. 1996; 54(3): 146-52
- [48]: Imhoff A, Hodler J: Arthroskopie und MRT an der Schulter – eine vergleichende retrospektive Analyse. Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete 130(3): 188-96, May-Jun 1992

- [49]: Jerosch J: Bildgebende Verfahren in der Diagnostik des Schultergelenkes. Biermann GmbH, Zülpich, 1991
- [50]: Katthagen BD: Schultersonographie. Thieme, Stuttgart / New York, 1988
- [51]: Kelkar R, Newton PM, Armengol J: Glenohumeral kinematics. Annual meeting of the American Shoulder and Elbow Surgeons, Vail, CO, Sept. 10-12, 1992
- [52]: Kenn W, Hufnagel P, Müller Th, Gohlke F, Böhm D, Kellner M, Hahn D: Arthrographie, Ultraschall und MRT bei Rotatorenmanschettenläsionen - ein Methodenvergleich bei Partilläsionen und kleinen kompletten Rupturen. Fortschr. Röntgenstrahlen 172: 260-266; Thieme Stuttgart, 2000
- [53]: Kieft GH, Bloem JL, Obermann WR, Verbout AJ, Rozing PM, Doornbos J: Normal shoulder: MR imaging. Radiology, Jun, 159:3, 741-4; 1986
- [54]: Kiss J, McNally EG, Carr AJ: Measurement of the anteroposterior translation of the humeral head using MRI. International Orthopaedics 21: 77-82; 1997
- [55]: Knudsen HB, Gelineck J, Sojbjerg JO, Olsen BS, Johannsen HV, Sneppen O: Functional and magnetic resonance imaging evaluation after single-tendon rotator cuff reconstruction. J Shoulder Elbow Surgery May-June 8(3): 242-6; 1999
- [56]: Kölbel R: Klinische Differentialdiagnostik in Eulert J, Hedtmann A: Das Impingement-Syndrom der Schulter. Thieme-Verlag Stuttgart 1996, S.72-74
- [57]: Krämer KL, Stock M, Winter M: Klinikleitfaden Orthopädie, 3.Auflage, Gustav Fischer Verlag 1997
- [58]: Lindbloom K: Arthrography and Roentgenography in Ruptures of the Tendons of the Shoulder Joint. Acta Radiol., 20: 548-562, 1939

- [59]: Lochmüller EM, Anetzberger H, Maier U, Habermeyer P, Müller Gerbl M: Acromio-humeral distance and acromial shape in 3-dimensional computerized tomography reconstruction. Side comparison in supraspinatus outlet syndrome. Unfallchirurg 100(11): 874-9, 1997
- [60]: Mack LA, Matsen FA, Kilcoyne RF, Davies PK, Sickler ME: US evaluation of the rotator cuff. Radiology 157: 205-209; 1985
- [61]: Mack LA, Nyberg DA, Matsen FR, Kilcoyne RF, Harvey D: Sonography of the postoperative shoulder. AJR 150: 1089-1093, 1988
- [62]: Magee TH, Gaenslen ES, Seitz R, Hinson GA, Wetzel LH: MR imaging of the shoulder after surgery. AJR 168: 925-928, 1997
- [63]: Milbradt H, Rosenthal H: Sonographie des Schultergelenks: Untersuchungstechnik, Sonomorphologie und diagnostische Bedeutung. Radiologe 28: 61-68, 1988
- [64]: Mink Jh, Harris E, Rappaport M: Rotator Cuff Tears: Evaluation using Double-Contrast Shoulder Arthrography. Radiology 157: 621-623, 1985
- [65]: Morrison DS, Ofstein R: The use of magnetic resonance imaging in the diagnosis of rotator cuff tears. Orthopedics. 1990 Jun; 13(6): 633-7
- [66]: Neer CS: Anterior acromioplasty for the chronic impingement of the shoulder. J Bone Joint Surg 54 (A): 41-50, 1972
- [67]: Nelson MC, Leather GP, Nirschl RP, Pettrone FA, Freedman MT: Evaluation of the painful shoulder. J Bone Joint Surg 73-A: 707-716, 1991
- [68]: Nirschl RP: Rotator cuff tendinitis: basic concepts of pathoetiology. Instruct. Course Lect. 1989, p.439 in Eulert J, Hedtmann A: Das Impingement-Syndrom der Schulter. Thieme-Verlag Stuttgart 1996

- [69]: Norwood LA, Barrack R, Jacobson KE: Clinical presentation of complete tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg (A)* 4: 499-505
- [70]: Nove-Josserand L, Levigne C, Noel E, Walch G: The acromio-humeral interval. A study of the factors influencing its height. *Rev-Chir-Orthop-Reparatrice-Appar-Mot.* 82(5): 379-85, 1996
- [71]: Oberholzer J: Die Arthro-Pneumoradiographie bei habitueller Schulterluxation. *Röntgenpraxis* 5: 589-590, 1933
- [72]: O'Brien SJ, Schwartz RS, Warren RF, Torzilli PA: Capsular restraints to anterior-posterior motion of the abducted shoulder. *J Shoulder Elbow Surg* 4(4): 298-308, 1995
- [73]: Otis JC, Jiang CC, Wickiewicz TL, Peterson MG, Warren RF, Santner TJ: Changes in the moment arms of the rotator cuff and deltoid muscles with abduction and rotation. *J Bone Joint Surg (Am)* 76(5):667-76, May 1994
- [74]: Owen RS, Iannotti JP, Kneeland JB, Dalinka MK, Deren JA, Oleaga L: Shoulder after surgery: MR imaging with surgical validation. *Radiology* 186: 443-447, 1993
- [75]: Pagnani MJ, Deng XH, Warren RF, Torzilli PA, Altchek DW: Effect of lesions of the superior portion of the glenoid labrum on glenohumeral translation. *J Bone Joint Surg A* 77(7): 1003-10, 1995
- [76]: Paletta GA, Warner JP, Warren RF, Deutsch BA, Altchek DW: Shoulder kinematics with two-plane x-ray evaluation in patients with anterior instability or rotator cuff tearing. *J. Shoulder Elbow Surg.* 6:6, 516-527; 1997
- [77]: Papilion JA, Shall LM: Fluoroscopic evaluation for subtle shoulder instability. *American Journal of Sports Medicine* 20(5): 548-552, 1992
- [78]: Patten RM, Spear RP, Richardson ML: Diagnostic performance of magnetic resonance imaging for the diagnosis of rotator cuff tears using supplemental images in the oblique sagittal plane. *Investigative Radiology* 29(1): 87-93, 1994

- [79]: Perry J: Biomechanics of the shoulder, in Rowe CR (ed): The Shoulder, New York, Churchill Livingstone, 1988
- [80]: Petersson CJ, Redlund-Johnell I: The subacromial space in normal shoulder Radiographs. Acta Orthop Scand 55, 57-58; 1984
- [81]: Poppen NK, Walker PS: Forces at the glenohumeral joint in abduction. Clin. Orthop. and Related Research 135: 165-170, 1977
- [82]: Poppen NK, Walker PS: Normal and abnormal motion of the shoulder. Journal Bone Joint Surg 58-A: 195-201, 1976
- [83]: Quinn SF, Sheley RC, Demlow TA, Szumowski J: Rotator cuff tendon tears: Evaluation with fat-suppressed MR imaging with arthroscopic correlation in 100 patients. Radiology 195: 497-501, 1995
- [84]: Rand T, Trattnig S, Breitenseher M, Freilinger W, Cochole M, Imhof H: MR-Arthrographie des Schultergelenks im postoperativen Patientenkollektiv. Radiologe 36: 966-970, 1996
- [85]: Rapf C, Furtschegger A, Resch H: Die Sonographie als neues, diagnostisches Verfahren zur Abklärung von Schulterbeschwerden. Fortsch Röntgenstr 145: 288-295; 1986. Zitiert aus: Helweg G, Moriggl B, Sperner G, Golser K, Frauscher F, Sögner P, Frede T, zur Nedden D: Sonographie der Schulter. Radiologe 36:971-980, 1996
- [86]: Resch H, Breiffuss H: Spontaneous tendon ruptures. Etiology, pathogenesis and therapy. Orthopäde 24:3, 209-19; 1995)
- [87]: Schachner H: Kleine Theorie zur Kernspintomographie. Homepage Radiologische Praxis Dr. U. Neumeier, Regensburg
- [88]: Sharkey NA, Marder RA: The rotator cuff opposes superior translation of the humeral head. American Journal of Sports Medicine 23(3): 270-275, 1995

- [89]: Seeger LL, Ruszkowski JT, Bassett LW, Kay SP, Kahmann RD, Ellman H: MR imaging of the normal shoulder: anatomic correlation. *AJR Am J Roentgenol*, Jan, 148:1, 83-91, 1987
- [90]: Sell S, König S, Gutsche I, Küsswetter W: Die Kernspintomographie und Sonographie in der Diagnostik von Läsionen der Rotatorenmanschette. *Sportverl.Sportschad.* 6: 20-23, 1992
- [91]: Soble MG, Kaye AD, Guay RC: Rotator Cuff Tear: Clinical Experience with Sonographic Detection. *Radiology* 173: 319-321, 1989
- [92]: Soslowski LJ, Flatow EV, Bigliani LU, Mow VC: Articular geometry of the glenohumeral joint. *Clinical Orthopedics* 285: 181, 1992
- [93]: Sperner G, Resch H, Golser K, Lener M, Seykora P: Die Wertigkeit der Sonographie bei Rupturen der Rotatorenmanschette. *Unfallchirurg* 96: 119-123, 1993
- [94]: Thompson WO, Debski RE, Boardman ND, Taskiran E, Warner JJP, Fu FH, Woo SL-Y: A biomechanical analysis of rotator cuff deficiency in a cadaveric model. *The American Journal of Sports Medicine* (3)24: 286-92, 1996
- [95]: Trampisch H., Windeler J., Ehle B., Lange S.: *Medizinische Statistik*. Springer-Heidelberg: 210-64, 1997
- [96]: Uri DS: MR Imaging of the shoulder impingement and rotator cuff disease. *Radiologic Clinics of North America* 35: 77-96, 1997
- [97]: Walker SW, Couch WH, Boester GA, Sproul DW: Isokinetic strength of the shoulder after repair of a torn rotator cuff. *J Bone and Joint Surg.* 69-A: 1041-1044, Sept.1987
- [98]: Warner JJP, Waskowitz R, Marks PH, Thaete L: Biomechanics of massive rotator cuff tears: a roentgenographic study. *Seventh Congress of the European Society for Surgery of the Shoulder and Elbow, J. Shoulder Elbow Surg.* 3: 28, 1994

- [99]: Weiner DS, Macnab I: Superior migration of the humeral head. *J Bone Joint Surg* 3: 524-527, 1970
- [100]: Wülker N, Plitz W, Roetman B, Wirth CJ: Function of the supraspinatus muscle. Abduction of the humerus studied in cadavers. *Acta Orthop Scand* 65(4): 442-6, 1994
- [101]: Wülker N, Schmotzer H, Thren K, Korell M: Translation of the glenohumeral joint with simulated active elevation. *Clinic. Orthop. and Related Research* 309: 193-200, 1994
- [102]: Yamaguchi K, Sher JS, Andersen WK, Garretson R, Uribe JW, Hechtman K, Neviasser RJ: Glenohumeral motion in patients with rotator cuff tears: a comparison of asymptomatic and symptomatic shoulders. *J Shoulder Elbow Surgery* Jan-Feb 9(1): 6-11; 2000
- [103]: Yeu K, Jiang KK, Shih TT: Correlation between MRI and operative findings of the rotator cuff tear. *J-Formos-Med-Assoc.* 93(2): 134-9, 1994
- [104]: 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* 172, 223-229, 1989
- [105]: Zuckerman JD, Matsen FA III: Biomechanics of the shoulder. *Biomechanics of Joints*, pp.225-247

7. Abkürzungsverzeichnis

ISP	Musculus infraspinatus
KM	Kontrastmittel
KST	Kernspintomographie
LBS	lange Bizepssehne
MRT	Magnetresonanztomographie
RM	Rotatorenmanschette
RMR	Rotatorenmanschettenruptur
SAR	Subacromialraum
SSC	Musculus subscapularis
SSP	Musculus supraspinatus

Danksagung

Mein Dank gilt zunächst Herrn Prof. Dr. Hahn für die Übernahme meiner Doktorarbeit und die Korrekturlesung, sowie Herrn Priv.-Doz. Dr. Kenn für die Betreuung und Hilfestellung bei der Durchführung der Untersuchungen und der Erstellung der Arbeit, insbesondere auch für die überaus effektiven gemeinsamen Korrekturtreffen. Vielen Dank auch an das gesamte Personal des „Bau 24“ – der Kernspintomographie, mit deren Unterstützung ich bei der Durchführung meiner Messungen immer rechnen konnte.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Prof. Eulert, Herrn Prof. Gohlke und Herrn Dr. Müller sowie den übrigen Ärztinnen / Ärzten des König-Ludwig-Hauses bedanken, mit deren Zusammenarbeit das Untersuchungsprotokoll entworfen wurde und welche die Einbestellung der Patienten für die sonographische Untersuchung übernahmen. Nicht zuletzt bin ich allen Patienten, welche die Nachuntersuchungen angenommen haben, sowie den freiwilligen Probanden des Kontrollkollektivs zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Michaela Metschke
Geburtsdatum: 06.März 1972
Geburtsort: Werne a.d. Lippe
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstatus: ledig

Ausbildungsdaten:

Schulausbildung:

Sept. 78 - Juli 82: Grundschule Ettmannsdorf, Schwandorf
Sept.82 - Juni 89: Carl - Friedrich Gauß Gymnasium Schwandorf
Aug. 89 - Juni 90: Arapahoe High School in Denver, Colorado, U.S.A.
High School - Abschluß
Sept. 90 - Juni 92: Carl - Friedrich Gauß Gymnasium Schwandorf
Abitur (Note: 1,3)

Studium:

Nov. 92: Julius - Maximilian Universität Würzburg:
Beginn des Studiums der Humanmedizin:
Sept.1994: Ärztliche Vorprüfung (Note: 2)
Aug. 1995: 1.Staatsexamen
April 1998: 2.Staatsexamen
Mai 1999: 3.Staatsexamen
Gesamtnote: 2
Juni 1998: USMLE (United States Medical Licencing Exam) Teil I
Aug 1998: USMLE Teil II und ECFMG Test für Medical English

Praktisches Jahr:

1. Tertial: Chirurgische Abteilung des Regionalspitals Burgdorf,
Schweiz
2. Tertial: König-Ludwig-Haus, Würzburg, Orthopädie
3. Tertial: Nephrologische und kardiologische Abteilung der Uniklinik
Würzburg

Berufliche Laufbahn:

Juni 99 – Dez. 2000 Ärztin im Praktikum in der Abteilung für Unfall- und
Wiederherstellungschirurgie des St.-Elisabeth
Krankenhauses Straubing
Jan. 01 – Aug. 2002 Assistenzärztin der Orthopädischen Gemeinschaftspraxis
Dres.Eichhorn, Strobel, Fett, Bertagnoli, Ebner in Straubing
incl. Orthopädischer Belegabteilung im St. Elisabeth
Krankenhaus Straubing
seit Sept. 2002 Assistenzärztin der II.Orthopädischen Klinik der Hessing-
Stiftung in Augsburg