

Magnetresonanztomographische Untersuchung des Musculus subscapularis nach offener vorderer Schulterstabilisierung

R.-J. Schröder¹
M. Scheibel²
A. Tsynman¹
P. Magosch³
P. Habermeyer³

Magnetic Resonance Analysis of the Subscapularis Muscle after Open Anterior Shoulder Stabilization

Zusammenfassung

Ziel: Analyse der magnetresonanztomographischen Darstellung der musklotendinösen Einheit des Subscapularismuskels (SSC) nach offener ventraler Primär- und Revisionsstabilisierung der Schulter und deren Vergleich mit der klinischen Funktion. **Material und Methode:** In dieser retrospektiven Kohortenstudie wurde bei 13 Patienten (Gruppe A, mittleres Alter: 36,5 Jahre) nach offener Primär- und 12 Patienten (Gruppe B, mittleres Alter: 34,2 Jahre) nach Revisionsstabilisierung der Schulter magnetresonanztomographische Kontrolluntersuchungen der Schulter durchgeführt. Die digitalen Datensätze wurden bezüglich des Muskelvertikal- und -Transversaldurchmessers ($V\emptyset$, $T\emptyset$) in einer definierten Schichtebene analysiert. Zudem erfolgte eine Signalintensitätsanalyse (Infraspinatus/Subscapularis-Signal-to-Noise-Ratio = ISP/SSC-SNR) zur Beurteilung der Muskelrophizität. Die klinische Untersuchung beinhaltete Subscapularisfunktions-tests sowie den Constant- und Rowe-Score. Als Kontrollgruppe dienten 12 gesunde Probanden (Gruppe C). **Ergebnisse:** Von Gruppe C zu Gruppe B reduzierte sich der mittlere $V\emptyset$ des SSC signifikant ($p < 0,05$), ebenso der mittlere $T\emptyset$ des kranialen SSC-Muskels (= crSSC, $p < 0,05$), während der mittlere $T\emptyset$ des kaudalen SSC-Muskels (= caSSC) sich nicht signifikant unterschied ($p > 0,05$). Die ISP/SSC-SNR fiel im crSSC in Gruppe A und B als signifikant gegenüber der Kontrollgruppe C ab ($p < 0,05$). Im caSSC ergab sich dagegen eine SNR-Zunahme in Gruppe A und B. In Gruppe A fanden sich bei 53,8%, in Gruppe B bei 92,3% der Patienten klinische Zeichen einer SSC-Insuffizienz. Keine Unterschiede gab es im Constant- und Rowe-Score in beiden Gruppen

Abstract

Purpose: Analysis of the magnetic resonance imaging of the subscapularis musculotendinous unit (SSC) after primary and revision open shoulder stabilization and their correlation with the clinical function. **Materials and Methods:** In a retrospective cohort study, 13 patients (mean age of group A: 36.5 years) after primary and 12 (mean age of group B: 34.2 years) after revision open stabilization underwent postoperative MRI of the shoulder. The digital data was analyzed with respect to the vertical and transverse diameters ($V\emptyset$, $T\emptyset$) in a defined image slice. A signal intensity analysis was performed (infraspinatus/subscapularis signal-to-noise ratio = ISP/SSC SNR). The clinical examination included the SSC tests and signs and the Constant and Rowe score. Twelve healthy volunteers (group C) served as the control. **Results:** From group C to group B, the mean $V\emptyset$ of the SSC decreased significantly ($p < 0.05$) as did the mean $T\emptyset$ of the cranial part of the SSC muscle (= crSSC) ($p < 0.05$). The mean $T\emptyset$ of the caudal part of the SSC muscle (= caSSC) did not differ significantly between all groups ($p > 0.05$). The ISP-SSC SNR was significantly lower ($p < 0.05$) in the crSSC of groups A and B than in group C. In the caSSC, the SNR increased in groups A and B. In 53.8% of group A and 92.3% of group B, clinical signs of SSC insufficiency were found. There was no significant difference between the Constant and the Rowe score in both groups ($p > 0.05$). Complete tendon ruptures were not observed in any case. **Conclusions:** MRI enables semi-quantitative analysis of the postoperative changes of the subscapularis muscle. The decrease of the ISP/SSC SNR points to a fatty degeneration in the crSSC. The results

Institutsangaben

¹ Klinik für Strahlenheilkunde, Charité, Berlin

² Zentrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité, Berlin

³ Zentrum für Schulter- und Ellenbogenchirurgie, ATOS-Praxisklinik Heidelberg

Korrespondenzadresse

Dr. Ralf Schröder · Radiologie, Charite · Augustenburger Platz 1 · 13353 Berlin · Tel.: ++49/30/450657153 · Fax: ++49/30/450557901 · E-mail: ralf.schroeder@charite.de

eingereicht: 16.1.2006 · angenommen: 13.3.2006

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2006; 178: 706–712 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI 10.1055/s-2006-926684 · Online-Publikation: 2006
ISSN 1438-9029

($p > 0,05$). Komplette Sehnendiskontinuitäten der Rotatoren-manschette wurden nicht beobachtet. **Schlussfolgerungen:** Magnetresonanztomographisch können postoperative Subscapularisveränderungen (Verfettung, Atrophie) semiquantitativ einfach analysiert werden. Die Abnahme der ISP/SSC-SNR weist dabei auf eine zunehmende Verfettung im crSSC hin. Die Ergebnisse liefern Hinweise auf die Ursachen einer klinischen Dysfunktion der muskulotendinösen Einheit des Subscapularis nach offener Schulterstabilisierung.

Einleitung

Die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) sind etablierte Verfahren zur Beurteilung von Läsionen der Rotatorenmanschette [1–3], wobei die MRT bei der Abklärung von Schulterinstabilitäten der CT trotz Mehrzeilentechnik überlegen ist [4]. Neben Sehnendiskontinuitäten können hier insbesondere Muskelverfettungen bzw. Atrophien dargestellt werden. Die Beschreibung der Atrophie der Rotatorenmanschette im MRT, insbesondere des Musculus supraspinatus (SSP), ist auf Thomazeau et al. zurückzuführen [5]. Goutallier et al. zeigte, dass die Muskelverfettung eine mögliche Folge einer Sehnenruptur sei, und beschrieb dabei eine fünfstufige Einteilung der Muskelverfettung in der CT [6]. Fuchs et al. untersuchten, ob diese Einteilung auf die MRT übertragbar sei und schlugen dabei eine dreistufige Unterteilung der Muskelverfettung in der Kernspintomographie vor [7]. Jedoch konnte sowohl mit der Einteilung von Goutallier et al. als auch von Fuchs et al. nur eine deskriptiv qualitative Beurteilung der fettigen Degeneration erfolgen. Die quantitative Berechnung der Muskelverfettung konnte bisher nur mit aufwendigen Methoden, wie der Magnetresonanztomographie (MRS), der fettselektiven MRT oder mit der 2D-SPLASH Spektroskopie, durchgeführt werden [8–12].

Atrophien und fettige Involutionen der Rotatorenmanschettenmuskulatur im Rahmen von Sehnenrupturen stellen nicht nur präoperativ ein wesentliches Problem dar, sondern werden auch nach operativen Eingriffen mit Ablösung der Sehnen beobachtet [13, 14]. Ziel der vorliegenden Studie war es, den Status der muskulotendinösen Einheit des Musculus subscapularis (SSC) nach offener Primär- und Revisionschulterstabilisierung unter Verwendung einer umgekehrt L-förmigen Ablösung der SSC-Sehne („inverted L-shaped tenotomy approach“) MR-tomographisch bezüglich postoperativer Atrophie und Verfettung zu untersuchen. Insbesondere sollte ein Vergleich der Ergebnisse mit der klinischen SSC-Funktion und der Gesamtfunktion der Schulter erfolgen. Da für die klinische Funktion der muskuläre Zustand eine wesentliche Rolle spielt, sollten Muskelverfettung und -atrophie mittels eines in der Routine leicht anwendbaren Verfahrens semiquantitativ ermittelt werden. Hierfür bot sich die vergleichende Bestimmung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) zweier Muskeln zur Berücksichtigung des individuellen Muskelstatus bzw. die Bestimmung definierter Vertikal- und Transversaldurchmessers des SSC an.

provide indications of the causes of the clinical dysfunction of the subscapularis musculotendinous unit after open shoulder stabilization.

Key words

MRI · signal intensity analysis · subscapularis muscle · open shoulder stabilization · trauma · shoulder · MR imaging · treatment effects

Material und Methode

Es wurden 25 Patienten (4 weiblich, 21 männlich) mit einem Durchschnittsalter von $35,4 \pm 9,8$ Jahren (21–56 Jahre) nach offener Schulterstabilisierung bei luxationsbedingter Schulterinstabilität in die Studie eingeschlossen und magnetresonanztomographisch sowie klinisch untersucht. Die Patienten wurden in zwei Gruppen unterteilt: Gruppe A umfasste 13 Patienten (3 Frauen, 10 Männer; Durchschnittsalter 36,5 Jahre), bei denen eine offene Primärstabilisierung durchgeführt wurde, Gruppe B 12 Patienten (1 Frau, 11 Männer, Durchschnittsalter 34,2 Jahre), bei denen eine offene Revisionsstabilisierung durchgeführt wurde, nachdem die vorangegangene Primärstabilisierung erfolglos geblieben war. Bei allen Patienten wurde die ventrale Schulterstabilisierung über einen ventralen Zugang zum Schultergelenk mit umgekehrt L-förmiger Ablösung der SSC-Sehne („inverted L-shaped tenotomy approach“) durchgeführt und der Kapsel-Labrum-Komplex in Fadenankertechnik am Glenoid refixiert. Zudem erfolgte ein Kapselshift in der Technik nach Matsen oder in der Technik nach Neer [15, 16].

Sämtliche Patienten wurden im Nachuntersuchungszeitraum regelmäßig klinisch betreut, an dessen Ende die MRT erfolgte. Dieser Nachuntersuchungszeitraum betrug bei Gruppe A durchschnittlich $48 \pm 17,3$ Monate und bei Gruppe B durchschnittlich $52 \pm 15,9$ Monate. Eine dritte Gruppe C mit 12 gesunden Probanden (4 weiblich, 8 männlich) mit einem Durchschnittsalter von $31,1 \pm 5,2$ Jahren (26–33 Jahre) ohne klinische Zeichen einer Schulterpathologie wurde als Kontrollgruppe herangezogen. Bei allen Patienten und Probanden erfolgte eine klinische Untersuchung beider Schultern.

Radiologische Untersuchung

Alle Patienten (Gruppen A und B) und Probanden (Gruppe C) wurden in einem offenen 0,2-T-MRT (E-Scan XQ, Esaote, Genua, Italien) untersucht. Bei allen Untersuchungen wurde eine kommerziell verfügbare Oberflächen-Extremitäten-Spule (linear polarisierte Doppel-Helmholtz-Spule, bestehend aus zwei Elementen) eingesetzt. Die Schulter wurde hierzu in Rückenlage positioniert, mit entspannt seitlich am Körper anliegendem Arm. Es wurden folgende native Sequenzen angefertigt (Sequenzdauer: 4,5–6,5 Minuten, anteroposteriore Phasenkodierung parallel zur Y-Achse):

1. Localizer in allen drei Raumebenen;
2. parasagittal (senkrecht zur Scapula), TR = 1010 ms, TE = 24 ms, TSE-Faktor = 2, Flipwinkel = 90° , Field of view = 200 mm, Schichtdicke = 4 mm, Matrix = 256×192 ;

3. parakoronar (parallel zur Scapula), TR = 720 ms, TE = 24 ms, TSE-Faktor = 2, Flipwinkel = 90°, Field of view = 200 mm, Schichtdicke = 4 mm, Matrix = 256 × 192;
4. transversal, TR = 720 ms, TE = 24 ms, TSE-Faktor = 2, Flipwinkel = 90°, Field of view = 200 mm, Schichtdicke = 4 mm, Matrix = 256 × 192.

Die Datensätze wurden als DICOM-Dateien auf Compact-Disks gespeichert. Für die Datenanalyse wurden eine Workstation des Typs „Advantage Windows“ (General Electric, Milwaukee, Wisconsin, USA) sowie das Softwareprogramm „Functool 2.5.24“ (General Electric) verwendet. Eine Homogenitätskorrektur erfolgte nicht, um die SNR-Analyse nicht zu beeinträchtigen.

Die Sehnen des SSC, des M. infra- (ISP) und des M. supraspinatus (SSP) wurden auf den axialen bzw. parakoronaren Aufnahmen bezüglich Kontinuität und Retraktion beurteilt.

Die Schichtebene für die an der Muskulatur vorgenommenen Messungen wurde definiert in der parasagittalen Schichtung. Gewählt wurde die von Thomazeau et al. beschriebene „Y-Schnittposition“ („Y-shaped-position“) [5]. Hierbei verläuft die Schnittebene senkrecht zur Scapula durch die mediale Begrenzung des Processus coracoideus und stellt die Fossa supraspinata dar.

In der parasagittalen Schichtung wurde der maximale schrägvertikale Durchmesser des gesamten SSC-Muskels vom höchsten bis zum niedrigsten Punkt des Muskels gemessen. Die Messlinie des oberen maximalen schrägtransversalen Durchmessers verlief senkrecht zum vertikalen Durchmesser und endete an der Spitze der Konkavität der Subscapularisgrube. Der untere maximale schrägtransversale Durchmesser wurde ebenfalls senkrecht zum vertikalen Durchmesser gemessen und endete am untersten Punkt des Scapulablattes (Abb. 1a).

Die minimalen, mittleren und maximalen Signalintensitäten sowie ihre Standardabweichungen in den verschiedenen SSC- und ISP-Anteilen wurden in den T1-gewichteten parasagittalen Spin-echosequenzen gemessen. Die Größe der verwendeten elliptischen Regions of Interest (ROI) identischer Größe betrug 50 mm². Das digitale Kopieren der gespeicherten ROIs erlaubte eine nahezu gleiche Positionierung bei allen Muskeln. Je fünf ROIs wurden im kranialen und kaudalen SSC-Muskelanteil, im mittleren ISP-Muskelbereich und im artefaktfreien Hintergrund positioniert (Abb. 1b). Alle Messungen wurden dreimal durchgeführt und anschließend die Mittelwerte berechnet.

Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) wurde nach der Formel von Hendrick et al. [18] berechnet:

$$\text{SNR} = (SI_{\text{Gew}} - SI_{\text{HG}}) / SD_{\text{HG}}$$

(SI_{Gew} = mittlere Signalintensität der Gewebs-ROI; SI_{HG} = mittlere Signalintensität der Hintergrunds-ROI; SD_{HG} = Standardabweichung der SI_{HG})

Alle Messdaten wurden für die spätere EDV-Auswertung in einem Auswertungsbogen verschlüsselt erfasst (Softwareprogramm Excel 2000 für Windows XP, Microsoft, USA).

Klinische Untersuchung

Für die Bewertung der SSC-Funktion wurden der Lift-Off-Test, das Innenrotations-Lag-Zeichen (IRLZ), der Belly-Press-Test und das Belly-Off-Zeichen durchgeführt [19 – 22].

Beim Lift-Off-Test wird der Arm des Patienten in Innenrotation auf den Rücken in Höhe der Lumbalregion gebracht und der Patient aufgefordert, die Hand vom Körper abzuheben. Ist dies nicht möglich, gilt der Test als positiv.

Beim Innenrotations(IRO)-Lag-Zeichen wird der Arm vom Untersucher passiv in Extension und submaximale Innenrotation gebracht und der Patient aufgefordert, diese Position zu halten. Ist dies nicht möglich, beobachtet man ein Zurückweichen der Hand an den Rücken, was als positives IRO-Lag-Zeichen gewertet wird. Kann der Arm nur unvollständig in Position gehalten werden, gilt das IRO-Lag-Zeichen als intermediär.

Der Belly-Press-Test wurde leicht modifiziert durchgeführt. Mit flach auf dem Bauch platzierter Hand und am Körper anliegendem Ellenbogen wurde der Patient aufgefordert den Ellenbogen nach vorne zu bringen und eine Streckung im Handgelenk durchzuführen. Gelingt dies nicht, bleibt eine Flexionsstellung im Handgelenk zurück und die Schulter wird angehoben. Diese Endstellung wird auch als Napoleon-Zeichen bezeichnet und die Flexion im Handgelenk wird dabei mithilfe des Goniometers gemessen [23].

Beim Belly-Off-Zeichen wird der Arm des Patienten vom Untersucher passiv in eine Flexions- und Innenrotationsposition gebracht. Während die eine Hand des Untersuchers die gestreckte Hand des Patienten auf dessen Bauch platziert, unterstützt die andere Hand den Ellenbogen. Der Patient wird nun aufgefordert, diese Position zu halten. Gelingt ihm dies nicht, lässt sich ein Ab-

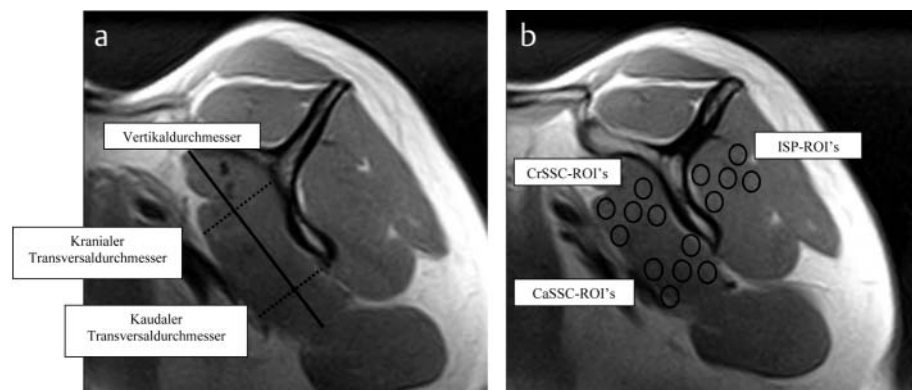


Abb. 1 a In der parasagittalen MRT der Rotatorenmanschettenmuskulatur wurden der maximale schräge Vertikal- und der maximale schräge Transversaldurchmesser des kranialen und des kaudalen Anteils des Musculus subscapularis gemessen. b Ebenso wurden die Regions of Interest in dieser Schichtung im Musculus infraspinatus (ISP-ROIs) sowie im kranialen und kaudalen Anteil des Musculus subscapularis (crSSC bzw. caSSC-ROIs) positioniert.

heben der Hand vom Bauch beobachten, was als positives Belly-Off-Zeichen interpretiert wird.

Die Gesamtfunktion der Schulter wurde mit dem Constant-Score und dem Rowe-Score beurteilt [24, 25]. Der Constant-Score berücksichtigt neben subjektiven Angaben zu Schmerz und Aktivität des täglichen Lebens (ADL) auch die objektiven Komponenten wie Beweglichkeit und Abduktionskraft. Der Test erreicht eine maximale Punktzahl von 100 Punkten, summiert aus den Teilbereichen Schmerz (max. 15 Punkte), Aktivität (max. 20 Punkte), Beweglichkeit (max. 40 Punkte) und Kraft (max. 25 Punkte).

Der Rowe-Score (max. 100 Punkte) wird zur Beurteilung der Schulterfunktion nach Schultergelenksstabilisierungen verwendet und untergliedert sich in die Teilbereiche Stabilität (max. 50 Punkte), Funktion (max. 30 Punkte), Beweglichkeit (max. 20 Punkte).

Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung der MRT-Messungen (Vertikaldurchmesser, Transversaldurchmesser, Signalintensitäten), des Constant-Scores, des Rowe-Scores und des Belly-Press-Tests wurde der Mann-Whitney-U-Test (Test für metrisch skalierte Daten) verwendet, da keine Normalverteilung der Daten vorlag (Shapiro-Wilk-Test). Das Belly-Off-Zeichen, der Lift-Off-Test und

das Innenrotations-Lag-Zeichen (IRLZ) wurden unter Verwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests (z-Test, Test für Nominal- und Modaldaten), der Zusammenhang zwischen radiologischen und klinischen Befunden mittels Rangkorrelationskoeffizienten nach Spearman untersucht. Für die statistischen Analysen wurde das Programm SPSS, Version 13.0 für Windows (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA), genutzt.

Ergebnisse

Radiologische Ergebnisse (Tab. 1, Abb. 2a–c)

Kontinuitätsunterbrechungen oder Retraktionen der SSC-Sehne als Hinweis auf komplette Sehnenrupturen wurden in keiner der Gruppen beobachtet. Ebenso waren die SSP- und die ISP-Sehne stets in ihrer Kontinuität erhalten.

Für den maximalen Vertikaldurchmesser des SSC ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe C und A ($p = 0,0340$) sowie Gruppe C und B ($p < 0,0001$). Auch zwischen Gruppe A und B war der Unterschied signifikant ($p = 0,0320$). Der Unterschied des maximalen Transversaldurchmessers im kranialen SSC-Anteil war sowohl zwischen Gruppe C und A ($p = 0,0070$) als auch Gruppe C und B ($p < 0,0001$) signifikant, ebenso zwischen Grup-

	Gruppe C (Kontrolle)	Gruppe A	Gruppe B	Signifikanz (p)
max. Vertikaldurchmesser des SSC (mm)	92,7 ± 7,3 (78,9–100,4)	85,6 ± 8,1 (76,1–90,7)	79,1 ± 5,4 (71,4–90,5)	C vs. A: 0,0340 C vs. B: < 0,0001 A vs. B: 0,0320
max. Transversaldurchmesser des crSSC (mm)	28,8 ± 4,4 (22,7–37,4)	23,4 ± 5,2 (16,4–35,8)	18,5 ± 3,9 (9,3–24,7)	C vs. A: 0,0070 C vs. B: < 0,0001 A vs. B: 0,0190
max. Transversaldurchmesser des caSSC (mm)	29,6 ± 4,3 (22,8–39,9)	29,3 ± 4,6 (19,5–35,2)	29,1 ± 3,8 (23,5–37,2)	C vs. A: 0,9800 C vs. B: 0,6900 A vs. B: 0,6900
Signal-to-Noise-Ratio (ISP vs. crSSC)	1,40 ± 0,15 (1,20–1,70)	1,20 ± 0,18 (1,00–1,70)	1,10 ± 0,17 (0,80–1,40)	C vs. A: 0,0200 C vs. B: < 0,0001 A vs. B: 0,0400
Signal-to-Noise-Ratio (ISP vs. caSSC)	1,70 ± 0,29 (1,40–2,00)	2,20 ± 0,25 (1,60–2,50)	2,00 ± 0,26 (1,60–2,30)	C vs. A: 0,0030 C vs. B: 0,0120 A vs. B: > 0,0500

Tab. 1 Radiologische Messwerte (ISP = Musculus infraspinatus, crSSC = kranialer Anteil des Musculus subscapularis, caSSC = kaudaler Anteil des Musculus subscapularis, SNR = Signal-to-Noise-Ratio, max. = maximaler)

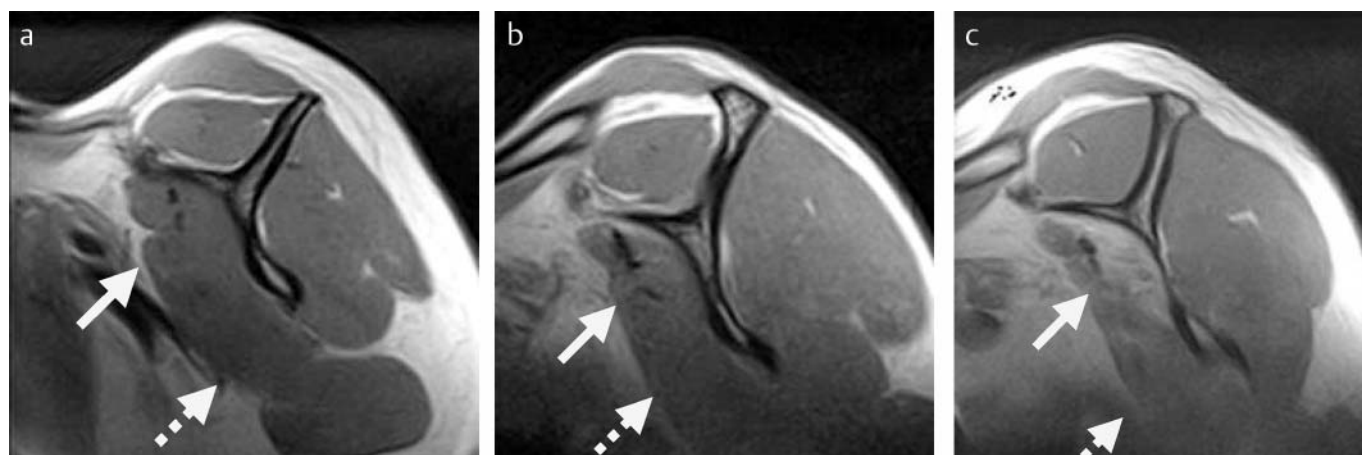


Abb. 2 Im Vergleich der parasagittalen Schnitte durch die Rotatorenmanschette der Gruppen C **a**, **a** und **b** zeigt sich eine zunehmende fettige Involution und Atrophie des kranialen Anteils des Musculus

subscapularis (geschlossener Pfeil) bei gleichzeitiger Konstanz des kaudalen Anteils (unterbrochener Pfeil).

Tab. 2 Klinische Messwerte

	Gruppe C (Kontrolle)	Gruppe A	Gruppe B	Signifikanz (p)
Lift-Off-Test	positiv: 0 negativ: 12	positiv: 1 negativ: 12	positiv: 2 negativ: 10	C vs. A: 1,0000 C vs. B: 0,9900 A vs. B: 0,0030
Innenrotations-Lag-Zeichen (IRLZ)	positiv: 0 intermediär: 0 negativ: 0	positiv: 1 intermediär: 2 negativ: 9	positiv: 2 intermediär: 5 negativ: 5	C vs. A: 0,8940 C vs. B: 0,0340 A vs. B: 0,4200
Mod-Belly-Press-Test/Napoleon-Zeichen	-3,8° (-20-0°)	7,3° (0-30°)	24,6° (0-50°)	C vs. A: 0,0020 C vs. B: <0,0001 A vs. B: 0,0030
Belly-Off-Zeichen	positiv: 0 negativ: 12	positiv: 7 negativ: 6	positiv: 11 negativ: 1	C vs. A: 0,0540 C vs. B: <0,0001 A vs. B: 0,3340

pe A und B ($p = 0,0190$). Beim maximalen Transversaldurchmesser im kaudalen SSC-Anteil ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ($p > 0,0500$).

Bei der Untersuchung der SNR des ISP vs. kranialer SSC-Anteil (ISP/crSSC-SNR) ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe C und A ($p = 0,0020$), zwischen Gruppe C und B ($p < 0,0001$) sowie zwischen Gruppe A und B ($p = 0,0400$). Bei der SNR-ISP vs. kaudaler SSC-Anteil (ISP/caSSC-SNR) ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen C und A ($p = 0,0030$) und Gruppe C und B ($p = 0,012$). Keine signifikanten Unterschiede waren zwischen Gruppe A und B festzustellen ($p > 0,0500$).

Klinische Ergebnisse (Tab. 2)

Gruppe A: Der durchschnittliche Constant-Score betrug $85,9 \pm 7,9$ Punkte (70,8–95,5 Punkte), der mittlere Rowe-Score $85,0 \pm 24,5$ Punkte (25–100 Punkte). Die Reluxationsrate lag bei 7%. Der Lift-Off-Test war bei einem Patienten positiv (8%). Das IRLZ wurde bei einem Patienten als positiv eingestuft (8%) und bei zwei Patienten als intermediär (15%). Die durchschnittliche Flexionsstellung des Handgelenks während des Belly-Press-Tests betrug $7,3^\circ$ (0–30°). Das Belly-Off-Zeichen war bei 7 Patienten positiv (53%).

Gruppe B: Der durchschnittliche Constant-Score betrug $84,6 \pm 7,8$ Punkte (63,5–91,6 Punkte), der mittlere Rowe-Score $84,6 \pm 22,6$ Punkte (75–100 Punkte), die Reluxationsrate 8%. Der Lift-Off-Test war bei 2 Patienten positiv (16%), das IRLZ bei 2 Patienten positiv (16%) und bei 5 Patienten intermediär (42%). Die durchschnittliche Flexionsstellung des Handgelenks während des Belly-Press-Tests betrug $24,6^\circ$ (von 0–50°). Das Belly-Off-Zeichen war bei 11 Patienten positiv (92%).

Gruppe C: In der Kontrollgruppe waren der Lift-Off-Test, das IRLZ und das Bell-Off-Zeichen bei allen Probanden negativ. Die durchschnittliche Flexionsstellung während des Belly-Press-Tests betrug $-3,8^\circ$ (-20–0°).

Zusammenhang von radiologischen und klinischen Befunden

Eine statistisch signifikante Korrelation wurde zwischen oberem SSC-Transversaldurchmesser und Belly-Press-Test ($r = -0,488$, $p = 0,0020$), Belly-Off-Zeichen ($r = -0,727$, $p < 0,0001$) sowie Innenrotations-Lag-Zeichen ($r = -0,457$, $p = 0,0040$) beobachtet. Mit Abnahme des oberen Transversaldurchmessers gingen positive klinische Befunde für eine SSC-Insuffizienz einher. Bei zunehmender Verringerung des Vertikaldurchmesser wurden ebenfalls der

Belly-Press-Test ($r = -0,436$, $p = 0,0070$) und das Innenrotations-Lag-Zeichen ($r = -0,546$, $p = 0,0050$) positiv. Zwischen unterem Transversaldurchmesser und positiven klinischen Befunden zeigte sich keine Abhängigkeit ($p > 0,0500$). Die SNR des oberen Anteils des SSC zeigte eine Korrelation mit dem Belly-Press-Test ($r = -0,656$, $p < 0,0001$) und dem Belly-Off-Zeichen ($r = -0,527$, $p = 0,0010$). Für die SNR des unteren Anteils des SSC fand sich eine positive Korrelation mit dem Belly-Press-Test ($r = 0,427$, $p = 0,0080$) und dem Belly-Off-Zeichen ($r = 0,326$, $p = 0,0490$).

Diskussion

Postoperative Dysfunktionen des Musculus subscapularis nach operativen Eingriffen mit Ablösung der Sehne stellen eine bisher wenig beachtete Entität dar. Verschiedene Arbeiten weisen auf Strukturveränderungen der Muskulatur im Sinne von Atrophie und fettiger Degeneration hin [13, 14]. Aus der bisherigen Literatur sind verschiedene Ansätze zur bildgebenden Analyse bekannt, welche jedoch teilweise deutlichen Einschränkungen unterliegen. Ziel dieser Studie war es, o.g. Veränderungen mittels eines leicht anwendbaren bildgebenden Verfahrens semiquantitativ zu erfassen und mit den entsprechenden klinischen Befunden einer postoperativen SSC-Dysfunktion zu korrelieren.

Sowohl die CT als auch die MRT werden zu diagnostischen Zwecken bei pathologischen Schulterveränderungen eingesetzt. Dabei ist die MRT eine etablierte Methode insbesondere bei der Evaluierung von Läsionen der Rotatorenmanschette oder des Kapsel-Labrum-Komplexes [1–3]. Außerdem können mit der CT oder MRT Verfettungen und Atrophien der Rotatorenmanschette dargestellt werden. Dieses ist von besonderer Bedeutung, da die Beschreibung des Verfettungs- und Atrophiezustandes zur operativen Indikationsstellung bei Rotatorenmanschettenrupturen herangezogen wird.

Von Thomazeau et al. [5] wurde erstmalig das Verhältnis des Muskelbauchs des M. supraspinatus (SSP) zur Fossa supraspinata mit der MRT und dabei eine Klassifikation der Atrophie des SSP vorgestellt. Thomazeau unterteilte die Quotienten Muskelbauch (SSP)/Fossa supraspinata in drei Grade: Grad I: 1,0–0,6, Grad II: 0,6–0,4 und Grad III: <0,4. Von Goutallier wurde eine fünfstufige Einteilung in der CT vorgeschlagen: Grad 0: kein Fettanteil nachweisbar, Grad 1: geringer Fettanteil nachweisbar, Grad 2: Muskelanteil > Fettanteil, Grad 3: Muskelanteil = Fett-

anteil, Grad 4: Fettanteil > Muskelanteil [6]. Fuchs et al. untersuchten, ob die Einteilung von Goutallier auch auf die MRT übertragbar sei, wobei die Autoren eine dreistufige Unterteilung der fettigen Degeneration für die MRT vorschlugen, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der CT zu erreichen [7].

Mit der Klassifikation der fettigen Degeneration von Goutallier et al. als auch von Fuchs et al. kann gegenwärtig nur eine deskriptiv qualitative Beurteilung erfolgen. Quantitative Messungen sind in anderen Studien bereits mittels der aufwändigeren Magnetresonanztomographie (MRS) durchgeführt worden [10, 11]. Goodpaster et al. zeigten, dass mit der fettselektiven MRT die Fettkonzentration im Muskel bestimmt werden kann [8]. In den Studien von Kostler et al. und Kenn et al. wurde die 2D-SPLASH-Spektroskopie zur quantitativen Bestimmung des Muskelfettgehalts im Bereich der Rotatorenmanschette eingesetzt [9, 12]. Jedoch benötigten diese Verfahren zur exakten Quantifizierung des Fettanteils ein Phantom, sodass sie für den alltäglichen Gebrauch langwierig und kompliziert waren.

In der vorliegenden Studie werden erstmals Integrität, Morphologie und klinische Funktion der muskulotendinösen Einheit des SSC bei primär- und revisionsstabilisierten Patienten nach offener vorderer Primär- und Revisionsstabilisierung vergleichend untersucht, wobei das Problem der Atrophie und fettigen Degeneration des Musculus subscapularis nach offener vorderer Schulterstabilisierung mittels L-förmiger Ablösung der SSC-Sehne bisher in der Literatur nur selten diskutiert wurde. Picard et al. und Maynou et al. konnten bereits nachweisen, dass bei Patienten nach offener Schulterstabilisierung mit dem Latarjetverfahren unter L-förmiger Sehnenablösung eine Kraftreduktion des SSC mit begleitender Muskelverfettung in der CT resultierte [13, 14].

In der vorliegenden Arbeit konnten sowohl die Sehnenintegrität, Muskelatrophie und Verfettung des SSC beurteilt werden, wobei mithilfe der ISP/SSC-SNR semiquantitative Aussagen zur Muskelverfettung getroffen wurden. Das Signal-Rausch-Verhältnis (ISP/SSC) konnte unkompliziert nach der Formel von Hendrick et al. [18] berechnet werden. Hierbei hat sich die parasagittale Aufnahme („Y-shaped-position“) bei der Messung der Durchmesser als auch der SNR bewährt. Dabei erwies sich die Berechnung der Muskeldurchmesser in dieser Aufnahme als eine geeignete und leicht durchführbare Methode zur Quantifizierung der Muskelatrophie. Bei der Beurteilung der SSC-Sehnenintegrität wurden Signalinhomogenitäten bzw. Kalibersprünge, die als sekundäre Kriterien einer Sehnenruptur von Pfirrmann et al. [17] beschrieben sind, nicht als diagnostisches Kriterium verwendet, da es hier postoperativ häufig zu Artefakten in der bildgebenden Darstellung kommt.

Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Annahme, dass es nach offener vorderer Schulterstabilisierung mit L-förmiger Sehnenablösung bei Schulterinstabilität zu einer postoperativen SSC-Atrophie und Verfettung kommt. Dabei scheint der kraniale SSC-Anteil besonders betroffen zu sein. Hierfür spricht einerseits der signifikant von Gruppe C zu Gruppe B abnehmende maximale Transversaldurchmesser des kranialen SSC-Anteils, andererseits die ebenfalls signifikant abnehmende SNR des ISP/kranialer SSC von Gruppe C zu Gruppe B. Physiologischerweise scheint die SNR im ISP fast stets höher als im SSC zu sein, da der Quotient zwischen diesen beiden Messwerten nur in Gruppe C in einigen Fällen unter 1 lag.

Für die vornehmliche Veränderung des kranialen SSC-Anteils sind mehrere Hypothesen zu diskutieren. Picard et al. beschrieben die Möglichkeit einer Reruptur der Sehne nach Refixation [13]. Komplette Sehnenrupturen wurden im eigenen Krankengut nicht beobachtet. Miller et al. beschrieben die Möglichkeit der Muskeldenergieverwertung im Rahmen des operativen Eingriffs, die sekundär mit einer Atrophie und Verfettung der Muskulatur einhergeht [27]. Eine präoperativ bereits bestehende Atrophie der SSC-Muskulatur kann nicht sicher ausgeschlossen werden, soweit keine präoperativen MRT vorlagen. Eine allgemeine Inaktivitätsinvolutionserscheinung durch die regelmäßige physiotherapeutische Betreuung und die vergleichende Analyse des individuellen Muskelstatus der betroffenen Schulter unwahrscheinlich. Gegen eine inaktivitätsbedingte fettige Involutions- und Atrophie des kranialen SSC-Anteils spricht ebenso die Adaptation seines kaudalen Anteils und der kaum veränderte Status der übrigen Rotatorenmanschettenmuskulatur. Kurzfristige Effekte scheiden durch den mindestens zweijährigen Abstand zwischen Operation und MRT aus.

Klinisch erscheinen der Belly-Press-Test bzw. das Napoleonzeichen und das Belly-Off-Zeichen besonders geeignet, eine Dysfunktion des kranialen SSC aufzudecken. Da sich nach offener vorderer Schulterstabilisierung vor allem der kraniale SSC-Anteil verändert und sich beim kaudalen SSC-Anteil Hinweise auf eine Fettreduktion ergeben (kompensatorische adaptive Veränderungen), sind möglicherweise die in der überwiegenden Zahl der Fälle guten und ausgezeichneten Ergebnisse im Constant- und Rowe-Scores zu erklären. Des Weiteren spielt sicherlich die Rekonstruktion der statischen Stabilisatoren (Kapsel-Labrum-Ligamentkomplex) eine wesentliche Rolle.

Die Korrelation zwischen MR-tomographischen und klinischen Parametern ist nur teilweise gegeben. Während die Vertikal- und oberen Transversaldurchmesser bzw. die SNR-Quotienten des SSC als Atrophie- bzw. Involutionszeichen eine gute Korrelation mit der klinischen Funktion aufweisen, scheint die Adaptation des unteren SSC-Anteils zu gering ausgeprägt und funktionell zu wenig bedeutsam zu sein, um signifikante Korrelationen zwischen Durchmesser und klinischem Befund aufzuzeigen, während dieses bezüglich für die SNR-Quotienten des ISP vs. caSSC durchaus gelang. Während die MR-tomographisch bestimmten Muskeldurchmesser vor allem mit dem Innenrotations-Lag-Zeichen und dem Belly-Press-Test korrelieren, ist dieses bei den SNR-Quotienten besonders beim Belly-Press-Test und Belly-Off-Zeichen der Fall. Die MRT kann somit wertvolle morphologische Erklärungen für klinisch nach vorangegangener Operation oft nur insuffizient differenzierbare Funktionsdefizite der Schulter liefern.

Die Vorteile offener Niedrigfeld-MRT-Geräte bestehen im Schulterbereich vor allem in der Einnahme von Funktionsstellungen und der Möglichkeit der Intervention [26]. Im Vergleich zu Hochfeld-MRT-Geräten bietet die 0,2-Tesla-MRT ein weniger homogenes Messfeld, geringere Gradienten bei geringerer Artefaktanfälligkeit und besserem T1-Kontrast. Die Relaxationszeit (TR) darf nicht zu niedrig gewählt werden, um eine ausreichend hohe Schichtzahl zu erreichen. In der vorliegenden Studie wurde die TR jedoch mit über 1000 ms im Rahmen unseres Routineuntersuchungsprogramms in der parasagittalen Schichtung sehr hoch gewählt. Hier empfiehlt sich zur Verbesserung des

T1-Kontraste eine niedrigere TR trotz geringerer Schichtzahl. Hierdurch können Verfettungen besser evaluiert und sicherer von einem potenziellen Ödem differenziert werden, sodass potenziell sogar deutlichere SNR-Unterschiede zwischen Kranken und Gesunden zu erwarten sind, da der Einfluss der Protonendichte und damit besonders des Flüssigkeitsgehaltes bei niedrigerer TR reduziert wird. Auf eine Homogenitätskorrektur ist zu verzichten, um die SNR-Analyse nicht zu verfälschen. Die SNR ist insgesamt gegenüber Hochfeldgeräten reduziert, sodass eine höhere Zahl von Akquisitionen erforderlich ist. Auf eine Berücksichtigung des Abstandes der jeweiligen ROIs von der Empfängerspule wurde in unserer Studie bei der SNR-Messung verzichtet. Dieses kann zwar trotz Mittelwertberechnung aus mehreren, jeweils über den gesamten Muskel verteilten ROIs zu einer Beeinflussung der absoluten Messwerte führen, jedoch wird die praktisch-klinische Bedeutung dieser Verfälschung reduziert durch den intraindividuellen Vergleich mit dem gesunden M. infraspinatus und den interindividuellen mit einer gesunden Kontrollgruppe.

Schlussfolgerungen

Mithilfe der MRT können Muskelveränderungen wie Atrophie oder Verfettung gut dargestellt werden, wobei sich besonders die Signal-to-Noise-Ratio als eine einfache und wenig aufwändige Methode zur semiquantitativen Bestimmung der Muskelverfettung herausgestellt hat und sich die Berechnung der definierten Muskeldurchmesser in der parasagittalen Aufnahme als eine geeignete und leicht durchführbare Methode zur Quantifizierung der Muskelatrophie erwies. So konnten mittels der MRT Veränderungen des SSC wie Atrophie und fettige Degeneration v.a. des kranialen Muskelanteils und adaptive Veränderungen des kaudalen Anteils nach offener vorderer Schulterstabilisierung gut dargestellt und beurteilt werden.

Literatur

- 1 Mäurer J, Rudolph J, Lorenz M et al. Prospektive Studie zum Nachweis von Läsionen des Labrum glenoidale mit der indirekten MR-Arthrographie der Schulter. *Fortschr Röntgenstr* 1999; 171: 307–312
- 2 Rudolph J, Lorenz M, Schröder R et al. Indirect MR arthrography in the diagnosis of rotator cuff lesions. *Fortschr Röntgenstr* 2000; 172: 686–691
- 3 Schröder RJ, Bostanjoglo M, Kääh M et al. Treffsicherheit der nativen und kontrastverstärkten MRT im Routineeinsatz bei Supraspinatussehnenrupturen – Vergleich mit operativen Ergebnissen. *Fortschr Röntgenstr* 2003; 175: 920–928
- 4 Bitzer M, Nasko M, Krackhardt T et al. Direkte CT-Arthrographie versus direkte MR-Arthrographie bei chronischer Schulterinstabilität: Ein Methodenvergleich nach Einführung der Multidetektor-CT-Technik. *Fortschr Röntgenstr* 2004; 176: 1770–1775
- 5 Thomazeau H, Duval JM, Darnault P et al. Anatomical relationships and scapular attachments of the supraspinatus muscle. *Surg Radiol Anat* 1996; 18: 221–225
- 6 Goutallier D, Postel JM, Bernageau J et al. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop* 1994; 304: 78–83
- 7 Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M et al. Fatty degeneration of the rotator cuff: Assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging. *J Shoulder Elbow Surg* 1999; 8: 599–605
- 8 Goodpaster BH, Stenger VA, Boada F et al. Skeletal muscle lipid concentration quantified by magnetic resonance imaging. *Am J Clin Nutr* 2004; 79: 748–754
- 9 Kenn W, Böhm D, Gohlke F et al. 2D SPLASH: a new method to determine the fatty infiltration of the rotator cuff muscles. *Eur Radiol* 2004; 14: 2331–2336
- 10 Boesch C, Kreis R. Observation of intramyocellular lipids by H-magnetic resonance spectroscopy. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904: 25–31
- 11 Pfirrmann CW, Schmid MR, Zanetti M et al. Assessment of fat content in supraspinatus muscle with proton MR spectroscopy in asymptomatic volunteers and patients with supraspinatus tendon lesions. *Radiology* 2004; 232: 709–715
- 12 Kostler H, Kenn W, Hummer C et al. 2D-SPLASH-Spektroskopie zur Bestimmung des Fett/Wasser-Verhältnisses in der Rotatorenmanschette. *Fortschr Röntgenstr* 2002; 174: 991–995
- 13 Picard F, Saragaglia D, Montbarbon E et al. Anatomico-clinical effect of subscapular muscle vertical section in Latarjet procedure. *Revue de chirurgie orthopédique* 1998; 84: 217–223
- 14 Maynou C, Cassagnaud X, Mestdagh H. Function of subscapularis after surgical treatment for recurrent instability of the shoulder using a bone-block procedure. *J Bone Joint Surg Br* 2005; 87: 1096–1101
- 15 Matsen FA III, Lippitt SB, Sidles JA et al. Practical evaluation and management of the shoulder. Philadelphia: WB Saunders, 1994
- 16 Neer CS 2nd, Foster CR. Inferior capsular shift for involuntary inferior and multidirectional instability of the shoulder. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 1980; 62: 897–908
- 17 Pfirrmann CWA, Zanetti M, Weishaupt D et al. Subscapularis tendon tears: detection and grading at MR arthrography. *Radiology* 1999; 213: 709–714
- 18 Hendrick RE, Russ PD, Simon JH. MRI: Principles and Artifacts, The Raven MRI Teaching File. New York: Raven Press, 1993
- 19 Gerber C, Krushell RJ. Isolated tears of the subscapularis muscle. Clinical features in sixteen cases. *J Bone Joint Surg Br* 1991; 73: 389–394
- 20 Hertel R, Ballmer FT, Lambert SM et al. Lag signs in the diagnosis of rotator cuff rupture. *J Shoulder Elbow Surg* 1996; 5: 307–313
- 21 Gerber C, Hersche O, Farron A. Isolated rupture of the subscapularis tendon. Results of operative repair. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78: 1015–1023
- 22 Scheibel M, Magosch P, Pritsch M et al. The belly-off sign: a new clinical diagnostic sign for subscapularis lesions. *Arthroscopy* 2005; 21: 1229–1235
- 23 Burkhart SS, Tehrany AM. Arthroscopic subscapularis tendon repair: technique and preliminary results. *Arthroscopy* 2002; 17: 454–463
- 24 Constant CR, Murley AHG. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop* 1987; 214: 160–164
- 25 Rowe CR, Sakellarides HT. Factors related to recurrences of anterior dislocations of the shoulder. *Clin Orthop* 1961; 20: 40–48
- 26 Thomas M, Schulz T, Schmidt F et al. MRT-gesteuerte Stanzbiopsie der Schulter: Möglichkeiten und Erfahrungen an einem vertikal offenen 0,5-T-System. *Fortschr Röntgenstr* 2005; 177: 1276–1283
- 27 Miller SL, Hazrati Y, Klepps S et al. Loss of subscapularis function after total shoulder replacement: A seldom recognized problem. *J Shoulder Elbow Surg* 2003; 13: 29–34