

Aus dem Anatomischen Institut  
(Geschäftsführender Vorstand: Professor Dr. med. Jobst Sievers)  
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

---

**UNTERSUCHUNGEN ZUR STRUKTUR DER  
MM. SUPRA- UND INFRASPINATUS  
UND ASSOZIIERTER ROTATORENMANSCHETTENRUPTUREN**

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der medizinischen Fakultät  
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von  
**ALI SHAKERY TEHRANY**  
aus Teheran  
Kiel 2014

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. Michael Schünke

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Andreas Seekamp

Tag der mündlichen Prüfung: 15.07.2015

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 15.07.2015

gez.: Prof. Dr. Thilo Wedel

(Vorsitzender der Prüfungskommission)

Für meine Familie

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Anatomie des Schultergelenks und der Rotatorenmanschette.....	1
1.1.1. Knöcherner Aufbau.....	1
1.1.2. Kapsel-Band-Apparat.....	6
1.1.3. Rotatorenmanschette.....	8
1.1.4. Rotatorenintervall.....	11
1.1.5. Pulley-System.....	11
1.1.6. Rotatorenkabel.....	12
1.1.7. Bursa synovialis (Schleimbeutel).....	12
1.2. Blutversorgung der Rotatorenmanschette und hypovaskuläre Zone.....	13
1.3. Erkrankungen der Rotatorenmanschette.....	15
1.3.1. Epidemiologie.....	15
1.3.2. Ätiologie und Pathogenese.....	16
1.4. Klassifikation der Rotatorenmanschettenrupturen.....	19
1.4.1. Klassifikation (Sektoreneinteilung) nach Habermeyer.....	20
1.4.2. Klassifikation nach Ellman.....	21
1.4.3. Klassifikation nach Bateman.....	23
1.4.4. Klassifikation nach Rowe.....	23
1.4.5. Klassifikation nach Patte.....	23
1.4.6. Klassifikation nach Goutallier.....	25
1.5. Fragestellung und Ziele.....	26
2. Material und Methoden.....	27
2.1. Material.....	27
2.1.1. Herkunft der Schulterpräparate.....	27
2.1.2. Präparate für die Histologie.....	27
2.1.3. Chemikalien.....	28
2.1.4. Lösungen, Puffer und Medien.....	28
2.1.5. Instrumente.....	29
2.1.6. Geräte / Software.....	30
2.2. Methoden.....	31
2.2.1. Fixierung und Lagerung.....	31

2.2.2.	Präparation der Rotatorenmanschette .....	31
2.2.3.	Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen .....	33
2.2.4.	Darstellung der Kreuzungszone .....	36
2.2.5.	Herstellung der Mazerationspräparate .....	36
2.2.6.	Herstellung der Injektionspräparate .....	36
2.2.7.	Das „Durchsichtigmachen“ des Gewebes .....	37
2.2.8.	Fotodokumentation und Bildbearbeitung .....	38
2.2.9.	Methoden der Histologie .....	38
3.	Ergebnisse .....	42
3.1.	Topografie der Muskelverläufe .....	42
3.1.1.	Anteile und Verlauf .....	43
3.1.2.	Insertion und Ansatz .....	50
3.1.3.	Kreuzungszone und Verbindungen .....	53
3.2.	Hypovaskuläre Zone .....	56
3.2.1.	Form, Ausdehnung und Lokalisation .....	56
3.3.	Defekte des M. supraspinatus .....	59
3.3.1.	Bursaseitige (bursale) Defekte .....	59
3.3.2.	Gelenkseitige (artikuläre) Defekte .....	70
4.	Diskussion .....	72
4.1.	Topografie der Rotatorenmanschette .....	72
4.1.1.	Muskuläre und tendinöse Anteile der Mm. suprapinatus und infraspinatus .....	72
4.1.2.	Sehneninsertionen am T. majus .....	74
4.1.3.	Kreuzung der Supra- und Infraspinatussehne .....	78
4.2.	Beziehung zwischen Rotatorenmanschette und Capsula articularis .....	80
4.3.	Hypovaskuläre Zone .....	81
4.4.	Ätiopathogenese der Rotatorenmanschettendefekte .....	83
5.	Zusammenfassung .....	87
6.	Literaturverzeichnis .....	89
7.	Danksagung .....	95
8.	Lebenslauf .....	96

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Skelett und die fünf Gelenke der Schulter .....	1
Abb. 1.2	Scapula einer rechten Schulter .....	2
Abb. 1.3	Formvarianten des Acromion nach Bigliani .....	3
Abb. 1.4	Rechtes Schultergelenk (Art. humeri), artikulierende Skelettelemente.....	4
Abb. 1.5	Drei Facetten am T. majus nach Gray.....	4
Abb. 1.6	Kapsel-Band-Apparat der rechten Schulter.....	6
Abb. 1.7	Band-Apparat eines rechten Schultergelenks I .....	7
Abb. 1.8	Rotatorenmanschette einer rechten Schulter .....	8
Abb. 1.9	Band-Apparat eines rechten Schultergelenks II .....	11
Abb. 1.10	Rotatorenkabel ( <i>Rotator Cable</i> ) .....	12
Abb. 1.11	Arterielle Versorgung der Rotatorenmanschette .....	13
Abb. 1.12	Faserknorpelige Zone der Supraspinatussehne.....	17
Abb. 1.13	Sektoreneinteilung der Rotatorenmanschette nach Habermeyer .....	20
Abb. 1.14	Klassifikation nach Ellman.....	21
Abb. 1.15	Rupturformen nach Ellman.....	22
Abb. 1.16	Makroskopische Einteilung der Rotatorenmanschettenruptur nach Rowe .....	23
Abb. 1.17	Klassifikation nach Patte in der Sagittalebene reproduziert aus Patte ....	24
Abb. 1.18	Retraktion des Sehnenstumpfes nach Patte in der Frontalebene .....	25
Abb. 2.1	Allgemeine Präparation der Rotatorenmanschette.....	32
Abb. 2.2	Schultergelenk - Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen I .....	34
Abb. 2.3	Schultergelenk - Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen II .....	35
Abb. 3.1	Eigene Darstellung der Anteile und des Verlaufs der Mm. supraspinatus und infraspinatus .....	42
Abb. 3.2	Anteile und Verlauf des M.supraspinatus .....	43
Abb. 3.3	Anteile und Verlauf des M.supraspinatus .....	45
Abb. 3.4	Verbindung zwischen Supraspinatussehne und Capsula articularis .....	46
Abb. 3.5	Anteile und Verlauf des M.infraspinatus .....	48
Abb. 3.6	Drei „Facetten“ und die Insertion der Rotatorenmanschettenmuskeln am T. majus.....	50
Abb. 3.7	Insertion der Mm. supraspinatus und infraspinatus .....	52
Abb. 3.8	Kreuzung von M. supraspinatus und M. infraspinatus .....	54
Abb. 3.9	Kreuzung von M. supraspinatus und M. infraspinatus – Variante ohne feste Verbindung .....	55
Abb. 3.10	Hypovaskulären Zone - Tusche-Gelatine-Injektionspräparat .....	57
Abb. 3.11	Hypovaskulären Zone .....	58
Abb. 3.12	Präparat-A, zwei bursaseitige Partialdefekte, Grad I nach Ellman .....	60
Abb. 3.13	Präparat-B, bursaseitiger Partialdefekt des M. supraspinatus, Grad I nach Ellman .....	61
Abb. 3.14	Präparat-C, bursaseitiger Partialdefekt des M. supraspinatus, Grad II nach Ellman .....	62

Abb. 3.15 Präparat-D, bursaseitiger retrahierter Partial-/Totaldefekt des M. supraspinatus .....	63
Abb. 3.16 Präparat-E, bursaseitiger Totaldefekt des M. supraspinatus .....	64
Abb. 3.17 Präparat-F, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus.	65
Abb. 3.18 Präparat-G, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus	66
Abb. 3.19 Präparat-G – Detailaufnahmen .....	67
Abb. 3.20 Präparat-H, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus	69
Abb. 3.21 Gelenkseitiger Partialdefekt der Rotatorenmanschette .....	71
Abb. 4.1 Drei Facetten am T. majus nach Gray.....	74
Abb. 4.2 Insertionaler <i>Footprint</i> der Rotatorenmanschette .....	75
Abb. 4.3 Drei Facetten des T. majus .....	75
Abb. 4.4 Humerale Insertion der Supra- und Infraspinatussehne .....	76
Abb. 4.5 Drei „Facetten“ und die Insertion der Rotatorenmanschettenmuskeln am T. majus.....	78
Abb. 4.6 Die Beziehung zwischen Supraspinatussehne (SSP), Infraspinatussehne (ISP) und den anatomischen Bezugspunkten.....	79

## Abkürzungsverzeichnis:

<b>A.</b>	<b>A</b> rteria
Abb.	<b>A</b> bbildung
AC	<b>A</b> cromion
Art.	<b>A</b> rticulatio
CHL	<b>C</b> oracohumerales <b>L</b> igament
Lig.	<b>L</b> igamentum
Ligg.	Ligamenta
LSCH	<b>L</b> igamentum <b>s</b> emicirculare <b>h</b> umeri
SSP	Musculus <b>s</b> upraspinatus
ISP	Musculus <b>i</b> nfraspinatus
SSC	Musculus <b>s</b> ubscapularis
<b>M.</b>	<b>M</b> usculus
Proc.	<b>P</b> rocessus
RI	<b>R</b> otatorenintervall
<b>T</b>	<b>T</b> uberculum
TM	Musculus <b>t</b> eres <b>m</b> inor

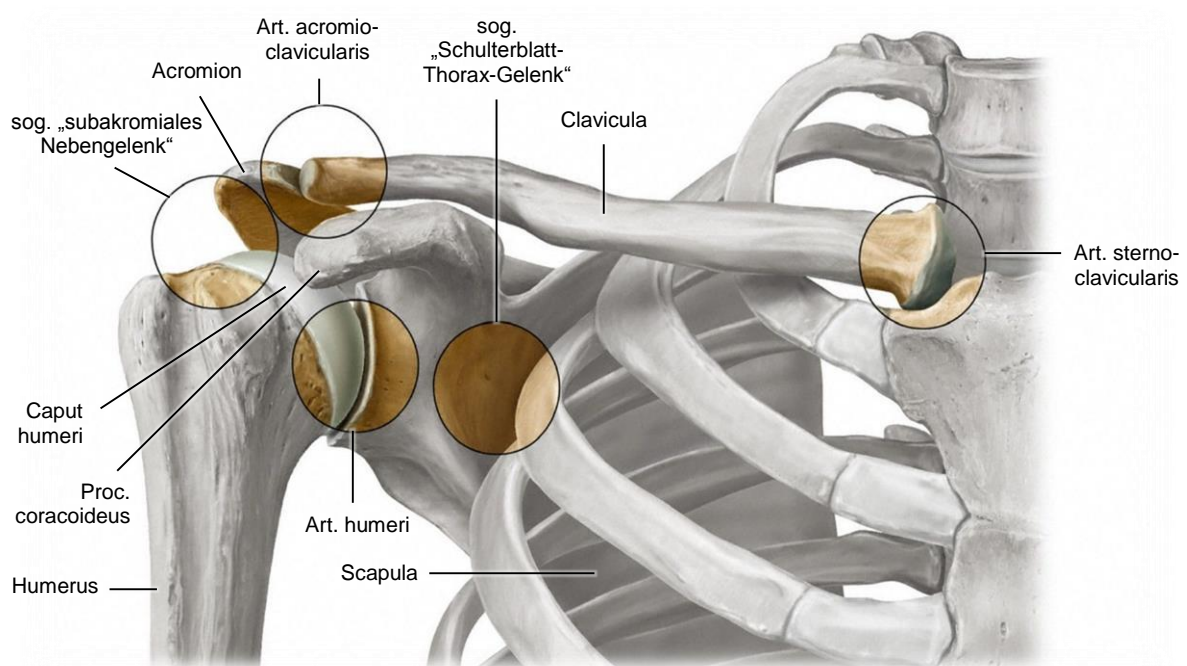


# 1. Einleitung

## 1.1. Anatomie des Schultergelenks und der Rotatorenmanschette

### 1.1.1. Knöcherner Aufbau

Das Skelett der Schulter besteht aus dem Schultergürtel (Scapula und Clavicula) und dem Oberarmknochen (Humerus). An der Schulter werden insgesamt fünf Gelenke unterschieden. Davon sind drei echte und zwei sogenannte Nebengelenke (Abb. 1.1). Als echte Gelenke gelten die Art. sternoclavicularis, die Art. acromioclavicularis und die Art. humeri. Die Nebengelenke sind zum einen das subakromiale Nebengelenk, als Gleitlager zwischen Schulterdach und Rotatorenmanschette und zum anderen das Schulterblatt-Thorax-Gelenk, als Gleitlager zwischen Mm. subscapularis und serratus anterior. Während Scapula und Clavicula über die Art. acromioclavicularis miteinander kommunizieren, verbindet die Art. humeri den Schultergürtel mit dem Oberarm (9).



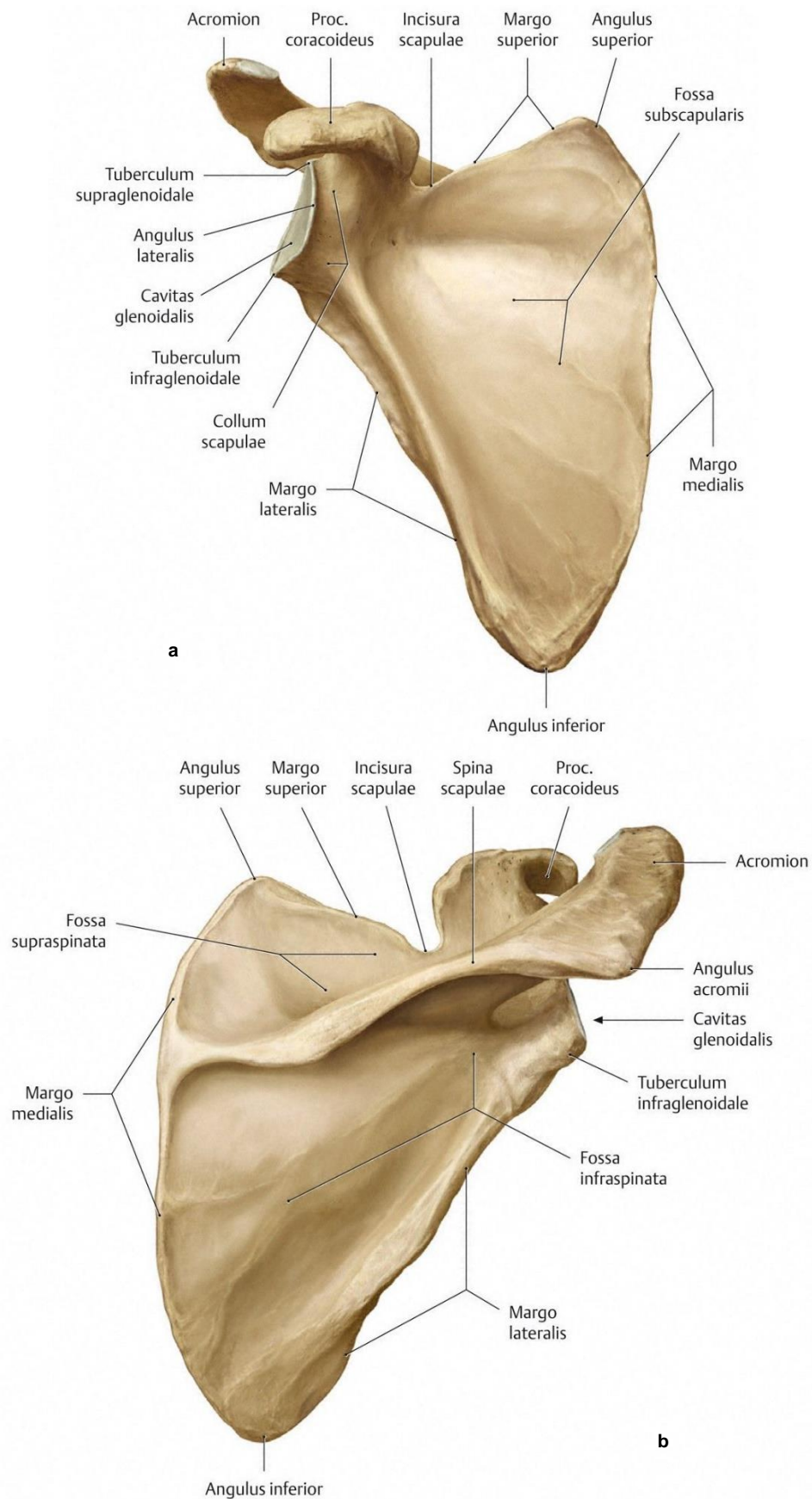
**Abb. 1.1 Skelett und die fünf Gelenke der Schulter aus Schünke et al. (2011)**

Rechte Schulter, Ansicht von ventral.

Das Skelett der Schulter setzt sich aus dem Schultergürtel (Clavicula und Scapula) und dem Oberarmknochen (Humerus) zusammen. An der Schulterbewegung sind fünf Gelenke beteiligt:

Echte Gelenke: Art. sternoclavicularis, Art. acromioclavicularis und Art. humeri

Nebengelenke: subakromiales Nebengelenk, als Gleitlager zwischen Schulterdach und Rotatorenmanschette und das Schulterblatt-Thorax-Gelenk, als Gleitlager zwischen Mm. subscapularis und serratus anterior



**Abb. 1.2 Scapula einer rechten Schulter aus Schünke *et al.* (2011)**

Die Scapula bietet Ursprungsflächen für die Rotatorenmanschettenmuskeln

**a)** Ansicht von ventral, die Fossa subscapularis dient dem M. subscapularis als Ursprungsfläche.

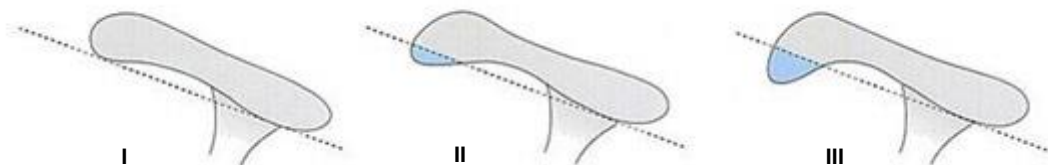
**b)** Ansicht von dorsal, an der Fossa supraspinata entspringt der M. supraspinatus und an der Fossa infraspinata der M. infraspinatus.

## Scapula

Als platter, dreieckiger Knochen bietet die Scapula Ursprungsflächen für die Muskeln der Rotatorenmanschette (Abb. 1.2). An der Fossa subscapularis der Facies costalis entspringt der M. subscapularis. Die Facies dorsalis wird durch die Spina scapulae in die Fossa supraspinata und die Fossa infraspinata unterteilt. Die Fossa supraspinata dient dem M. supraspinatus und die Fossa infraspinatus dem M. infraspinatus als Ursprungsfläche. Die Spina scapulae setzt sich laterokranial als Acromion fort. Im kranialen Bereich des Skapulahalses entspringt ventral der Proc. coracoideus. Acromion und Proc. coracoideus sind über das Lig. coracoacromiale miteinander verbunden und bilden mit ihm das Schulterdach (Fornix humeri) (17).

## Formvarianten des Acromion

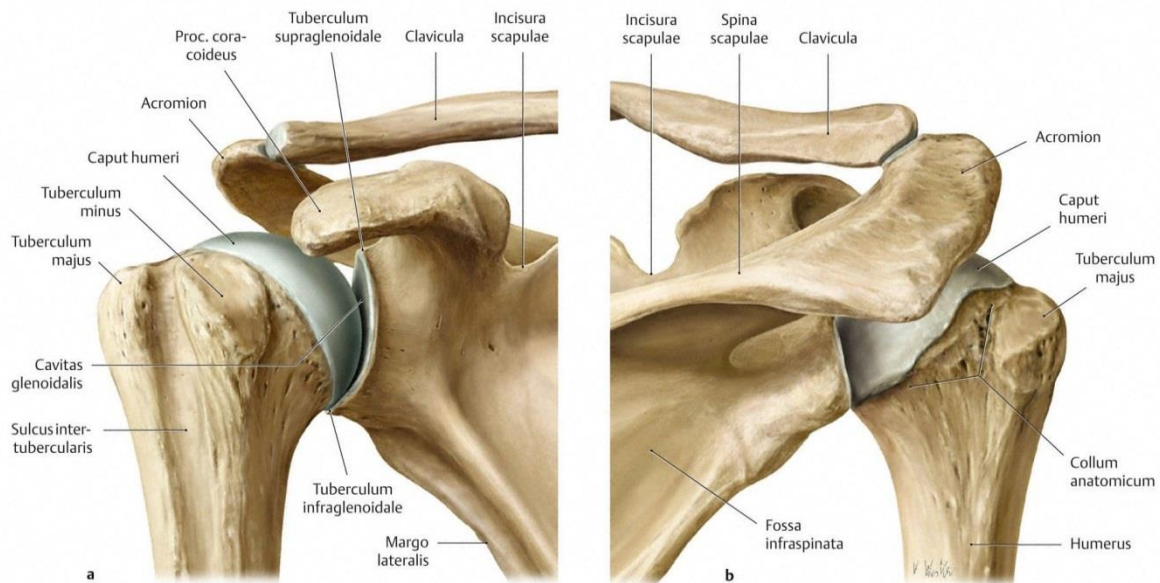
Für das Acromion werden drei anatomische Formvarianten nach Bigliani (7) unterschieden. Demnach wird zwischen flach, gekrümmt oder hakenförmig aufgebautem Acromion unterschieden (Abb. 1.3). Vor allem wird die hakenförmige Variante mit dem Auftreten von Defekten der Rotatorenmanschette in Verbindung gebracht.



**Abb. 1.3 Formvarianten des Acromion nach Bigliani (7) modifiziert aus Lessl et al. (2000)**  
I flach, II gekrümmt und III hakenförmig

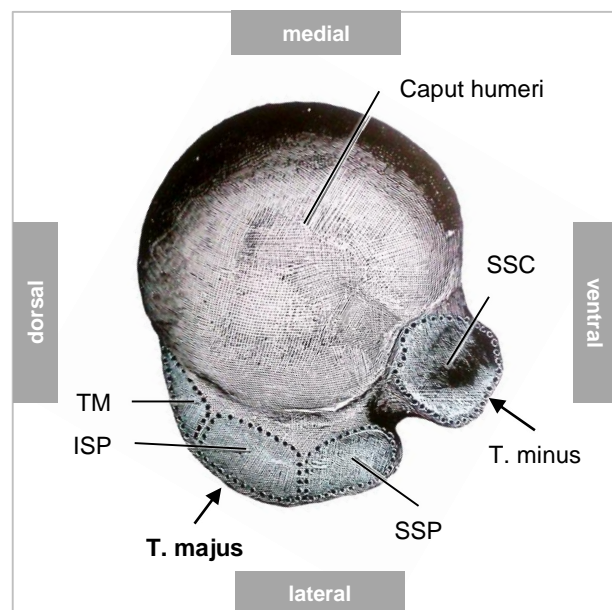
## Humerus

Der kugelförmige Humeruskopf (Caput humeri) bildet die proximale Epiphyse des Humerus. Von der Diaphyse getrennt ist er durch das ringförmige Collum anatomicum, an dem die Capsula articularis des Schultergelenks (Art. humeri) entspringt (Abb. 1.4). Humeruskopf und Cavitas glenoidalis sind knöcherne Anteile des Schultergelenks. Als zwei selbständige Apophysen liegen Tubercula majus und minus an dem proximalen Ende der Diaphyse. Sie sind durch den Sulcus intertubercularis voneinander getrennt. Durch den Sulcus intertubercularis läuft die lange Sehne des M. biceps brachii nach kaudal. Der Schaftanteil distal der Tubercula wird als Collum chirurgicum bezeichnet. Das T. majus bietet den Mm. supraspinatus, infraspinatus und teres minor die



**Abb. 1.4 Rechtes Schultergelenk (Art. humeri), artikulierende Skelettelemente aus Schünke et al. (2011)**  
 a) Ansicht von ventral  
 b) Ansicht von dorsal

Ansatzfläche (17). Nach Gray's Anatomie (8, 18) sind auf der superioren Fläche des T. majus drei flache Impressionen (Facetten) erkennbar (Abb. 1.5). An der oberen Facette inseriert die Supraspinatussehne, an der mittleren Facette die Infraspinatussehne. Die Sehne des M. teres minor inseriert an der unteren Facette. Am T. minus setzt der M. subscapularis an. Die Insertion der Rotatorenmanschettenmuskeln am Humerus wurde bisher in mehreren Studien untersucht. Ebenso wurde die Ausdehnung der Insertionsflächen mit Bezug auf die Facetten am T. majus beschrieben. Im Vergleich zu der oben erwähnten Beschreibung von Gray zeigen diese Untersuchungen zum Teil (1, 2, 19) unterschiedliche Ergebnisse. Eins der Ziele der vorliegenden Arbeit war es daher, die Morphologie und Ausdehnung der Facetten am T. majus zu untersuchen und die Ausdehnung der Insertionsflächen mit Bezug auf Facetten am T. majus zu analysieren.

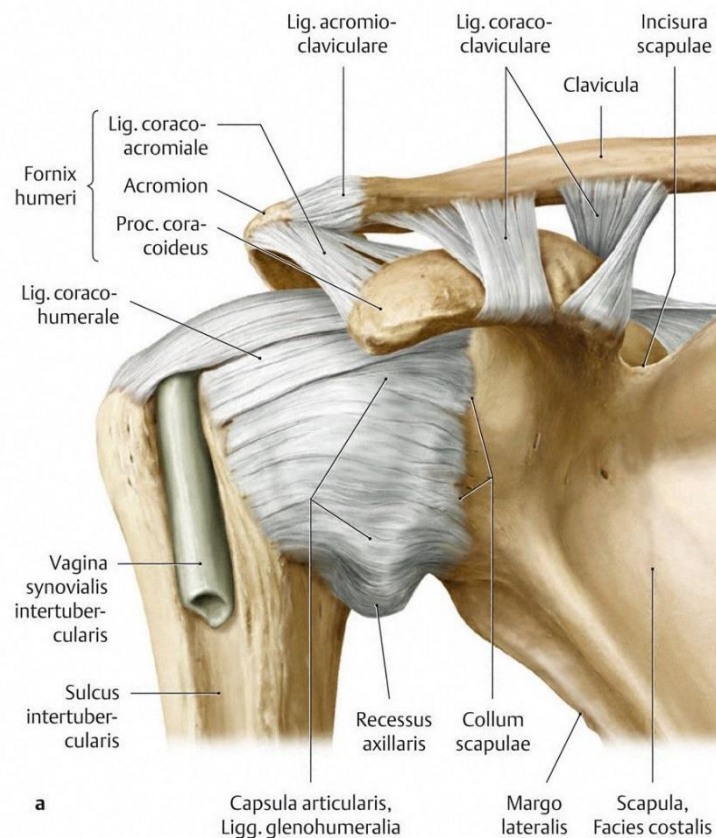


**Abb. 1.5 Drei Facetten am T. majus nach Gray (8)**  
 Humerus, Ansicht von kranial, der T. majus präsentiert an seiner superioren Fläche drei Facetten. An der oberen Facette inseriert die Supraspinatussehne (SSP), an der mittleren die Infraspinatussehne (ISP) und an der unteren die Sehne des M. teres minor (TM). Subskapularissehne (SSC) setzt am T. minus an.

### Schultergelenk (Art. humeri)

Das Schultergelenk, Art. humeri ist das beweglichste Gelenk des menschlichen Körpers. Die artikulierenden Gelenkflächen werden zum einen von der Cavitas glenoidalis der Scapula und zum anderen vom Caput humeri gebildet (Abb. 1.4). Die Gelenkfläche der Cavitas glenoidalis steht in einem Verhältnis von 1:3 bis 1:4 zur korrespondierenden Fläche des Caput humeri und wird durch eine faserknorpelige Gelenkklippe (Labrum glenoidalis) etwas verstärkt. Diese Tatsache verleiht dem Schultergelenk ein beachtlich hohes Maß an Beweglichkeit, verringert aber gleichzeitig die Stabilität im Gelenk und macht es zum anfälligsten Gelenk des Körpers. Im Gegensatz zum knöchern geführten, bandgesicherten Hüftgelenk ist der Bandapparat im Schultergelenk nur schwach ausgebildet. Aus diesem Grund spielt die kräftige Schultermuskulatur, insbesondere die Muskulatur der Rotatorenmanschette eine zentrale Rolle für die Stabilität im Gelenk (9).

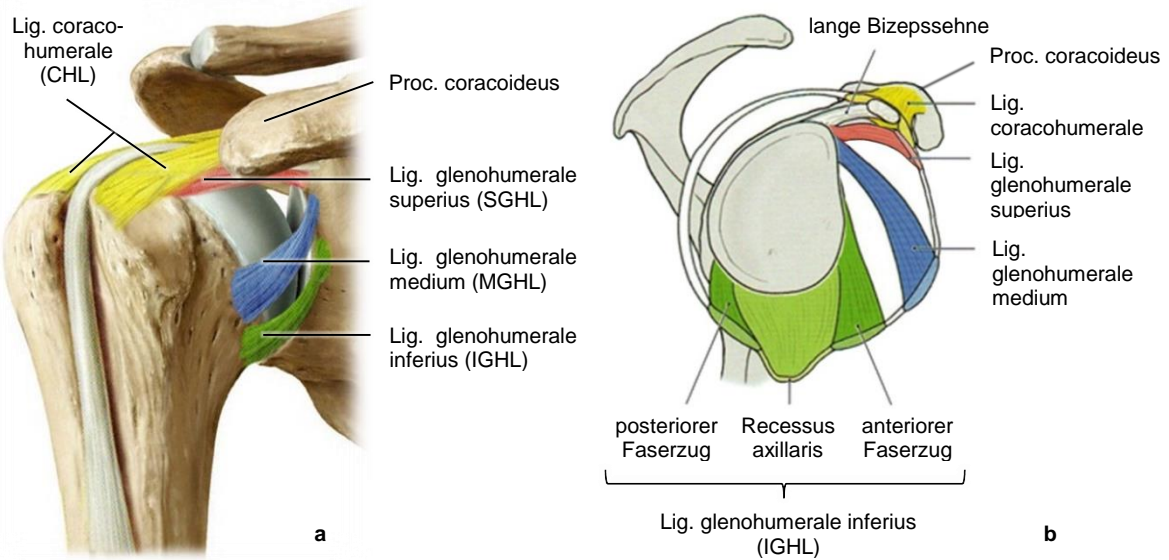
## 1.1.2. Kapsel-Band-Apparat



**Abb. 1.6 Kapsel-Band-Apparat der rechten Schulter aus Schünke *et al.* (2011)**

Ansicht von ventral, Darstellung der Gelenkkapsel und verstärkende Bandstrukturen des Schultergelenks (Art. humeri): Ligg. glenohumeralia und Lig. coracohumerale. Außerdem lassen sich die Art. acromioclavicularis (Schulterergelenk) und die ausbildende Strukturen des Schulterdaches (Fornix humeri) erkennen.

Die relativ schlaffe Capsula articularis des Schultergelenks wird mit einem nur schwach ausgebildeten Bandapparat verstärkt. Kranial wird sie hauptsächlich durch das Lig. coracohumerale und ventral durch die Ligg. glenohumeralia verstärkt (Abb. 1.6). Der dorsale Abschnitt der Gelenkkapsel ist nicht bandverstärkt und relativ dünn aufgebaut (9). Das kräftige Lig. coracohumerale besteht aus einem tiefen und einem oberflächlichen Anteil. Der tiefe kapsuläre Anteil entspringt an der Basis des Proc. coracoideus und strahlt bogenförmig in dorsolateraler Richtung in die Kapsel ein. Der oberflächliche Anteil entspringt weiter kranial am Proc. coracoideus und strahlt in die bursenseitige Sehne des M. supraspinatus, die er von ventral umschließt (20).



**Abb. 1.7 Band-Apparat eines rechten Schultergelenks I, modifiziert aus Schünke *et al.* (2011)**

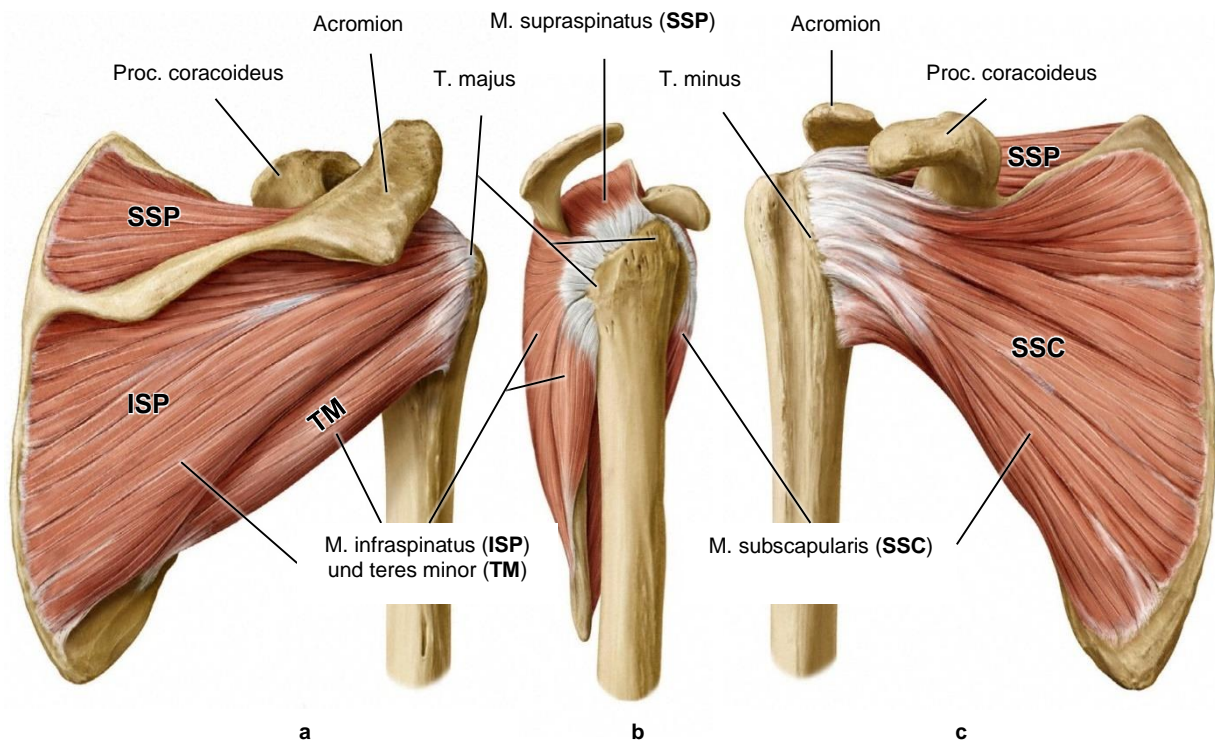
**a)** Ansicht von ventral

**b)** Ansicht von lateral, schematische Darstellung der verstärkenden Bandstrukturen der Capsula articularis des Schultergelenks. Der Humeruskopf wurde entfernt, die Kapsel und die Ansatzsehnen der Rotatorenmanschettenmuskeln wurden durchtrennt.

Das Lig. glenohumerale superius entspringt kaudal der Ursprungsstelle des coracohumeralen Ligaments am oberen Pfannenrand und verläuft zum Sulcus intertubercularis sowie zum T. minus (9).

Das Lig. glenohumerale medium verläuft vom oberen Pfannenrand nahezu rechtwinklig zur Sehne des M. subscapularis und setzt am Collum anatomicum des Humerus an. Die kaudale Verstärkung der Kapsel erfolgt durch das Lig. glenohumerale inferius, das aus drei Anteilen besteht: einem anterioreren und posterioreren sowie einem mittleren Faseranteil. Der mittlere bildet den sogenannten Recessus axillaris als eine Reservefalte in Neutralposition des Schultergelenks (Abb. 1.7) (9). Weitere Untersuchungen berichten über das Lig. glenohumerale spirale als ein eindeutig nachweisbares Band im ventralen Kapselbereich (21). Es verläuft spiralförmig vom T. infraglenoidale zur dorsokraniellen Fläche der Subskapularissehne, mit der es sich lateral verbindet und gemeinsam am T. minus des Humerus ansetzt. Es lässt sich in 44,9% der Fälle arthroskopisch darstellen (22).

### 1.1.3. Rotatorenmanschette



**Abb. 1.8 Rotatorenmanschette einer rechten Schulter aus Schünke *et al.* (2011)**

**a-c)** Ansicht von dorsal, lateral und ventral

Die Sehnen der Mm. supraspinatus (SSP), infraspinatus (ISP), teres minor (TM) und subscapularis (SSC) verwachsen distal zu einer derben Sehnenplatte, die das Schultergelenk wie eine Kappe umgibt und als Rotatorenmanschette bezeichnet wird.

Nach der allgemein akzeptierten Anatomie wird der Humeruskopf zusammen mit dem Schultergelenk (Art. humeri) von Sehnen der vier Rotatorenmanschettenmuskeln wie folgt umhüllt: Ventral verläuft die Sehne des M. subscapularis, kranial die Supraspinatussehne und dorsal die Sehnen der Mm. infraspinatus und teres minor. Sie verwachsen in ihrem distalen Abschnitt zu einer einheitlichen Sehnenplatte, die das Schultergelenk manschettentartig umgibt (Abb. 1.8). Diese setzt an den Tubercula majus und minus des Humerus an und stabilisiert das Schultergelenk durch Einpressen des Humeruskopfes in die Gelenkpfanne. Da sie nicht nur aus den Rotatoren gebildet wird, ist der gängige Begriff „Rotatorenmanschette“ allerdings etwas irreführend.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich vorwiegend mit den Mm. Supra- und infraspinatus. In der bisherigen Literatur wurden Anteile der beiden Muskeln erwähnt (19), die noch nicht ausreichend beschrieben sind. Einige Untersuchungen (1, 23, 24) berichteten über eine Kreuzung der beiden Muskeln im distalen (lateralen) Abschnitt. Des Weiteren ist die Insertion der beiden Muskeln am T. majus nach wie vor



Bestandteil zahlreicher Untersuchungen. Eine der letzten Untersuchungen von Mochizuki *et al.* (19) berichtete über eine wesentlich kleinere Insertionsfläche der Supraspinatussehne am T. majus als bisher bekannt. Nach dieser Untersuchung wird der verbliebene Platz zusätzlich von der Infraspinatussehne eingenommen. Darüber hinaus wurde die Ausdehnung der jeweiligen Insertionsfläche mit Bezug auf Facetten am T. majus beschrieben. Auch hier lassen sich Diskrepanzen in der aktuellen Literatur feststellen. Aus diesen Gründen wurde die Anatomie der beiden Muskeln (Mm. Supra- und infraspinatus) in dieser Arbeit näher untersucht (s. Ergebnisse Seite 42).

Im Folgenden wird die bisher allgemein akzeptierte Anatomie der Muskeln der Rotatorenmanschette aufgeführt. Eine ausführliche Gegenüberstellung von den Ergebnissen der aktuellen Literatur erfolgt im Abschnitt Diskussion (Seite 72).

### M. supraspinatus

Der M. supraspinatus entspringt in der Fossa supraspinata der Scapula und verläuft nahezu horizontal durch den Subakromialraum, einen osteofibrösen Kanal zwischen Fornix und Caput humeri und inseriert am T. majus (obere Facette) des Humerus (17). Bei Abduktion und Außenrotation unterstützt er als Startermuskel den M. deltoideus. Da seine Sehne mit der Gelenkkapsel verwachsen ist, verhindert er gleichzeitig eine Einklemmung der Kapsel in das Schultergelenk. Des Weiteren führt er zu einer Depression des Humeruskopfes bei Elevation (25). Bei der Abduktion des Armes von 60-120° steht die Supraspinatussehne mit dem Schulterdach in direktem Kontakt. Nicht selten führen degenerative Prozesse dazu, dass die verkalkte und verdickte Sehne während der Passage unter dem Fornix humeri komprimiert wird und schmerzhaft Zustände (Schmerzhafter Bogen) verursacht (9).

### M. infraspinatus

Analog zum M. supraspinatus entspringt der M. infraspinatus ebenfalls in der gleichnamigen Fossa infraspinata der Scapula und setzt am T. majus (mittlere Facette) des Humerus an. Seine Sehne strahlt in die Gelenkkapsel und ist kaudal häufig mit der Sehne des M. teres minor verwachsen oder durch Bindegewebssepten von ihm getrennt. Der obere Anteil des Muskels unterstützt die Abduktionsbewegung des Armes, während der untere Anteil zusammen mit dem M. teres minor eine wesentliche Rolle bei der Außenrotation insbesondere des innenrotierten Arms spielt und zusätzlich an der Adduktionsbewegung beteiligt ist (17).

### M. teres minor

Der M. teres minor hat seinen Ursprung an der Margo lateralis der Scapula und inseriert kaudal des Ansatzbereiches der Infraspinatussehne am T. majus (untere Facette). Er unterstützt gemeinsam mit dem M. infraspinatus die Außenrotation und geringfügig die Adduktion (9).

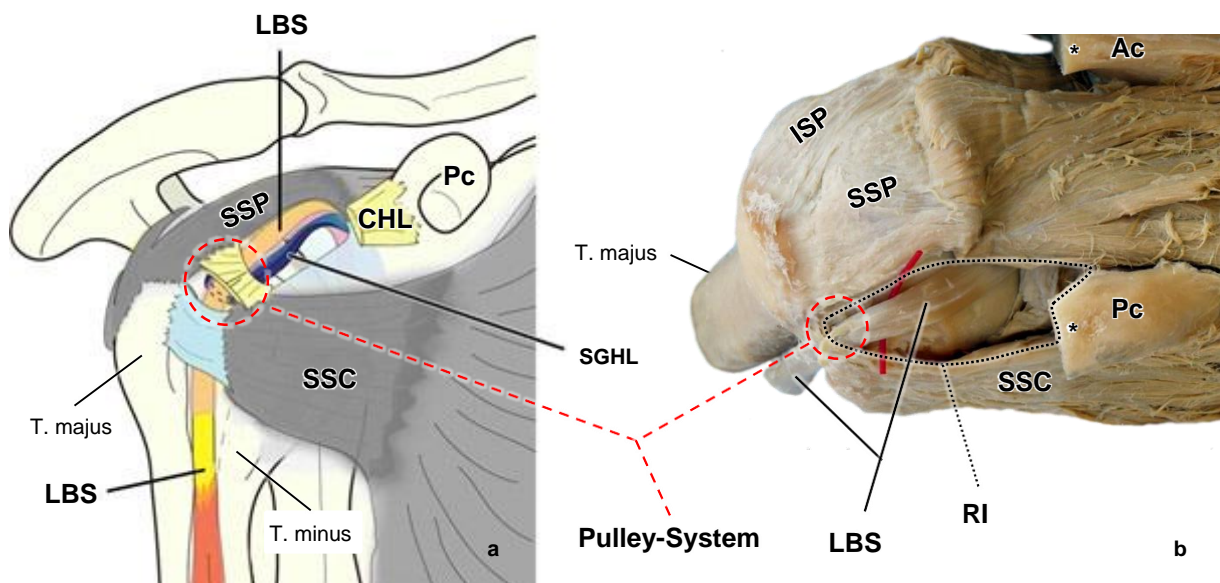
### M. subscapularis

Als kräftiger Muskel entspringt der M. subscapularis an der Fossa subscapularis im ventralen Bereich der Scapula und setzt am T. minus und am proximalen Teil der Crista tuberculi minoris des Humerus an. Seine Sehne strahlt ebenfalls in die Gelenkkapsel ein und wird ansatznah vor allem am oberen Rand von der Bursa subtendinea m. subscapularis umgeben. Ein Teil der Sehne zieht distal über den Sulcus intertubercularis hinweg bis zu seinem Ansatz an der Crista tuberculi majoris. Der Muskel ist ein starker Innenrotator des Armes und unterstützt mit seinem oberen Anteil die Abduktion (17).

#### 1.1.4. Rotatorenintervall

Als Rotatorenintervall wird der trianguläre Bereich des Kapsel-Band-Anteils bezeichnet, der sich zwischen dem anterioren Rand des M. supraspinatus und der superioren Sehnenkante des M. subscapularis befindet (26). Das Rotatorenintervall überdacht die lange Sehne des M. biceps brachii in ihrem intraartikulären Verlauf und wird hauptsächlich durch das Lig. coracohumerale, das Lig. glenohumerale superius und die Capsula articularis gebildet (Abb. 1.9).

#### 1.1.5. Pulley-System



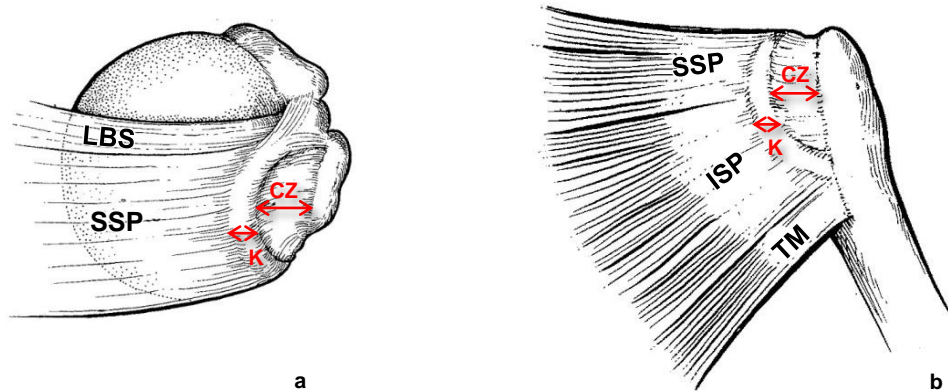
**Abb. 1.9 Band-Apparat eines rechten Schultergelenks II**

**a)** Ansicht von ventrolateral, schematische Darstellung des **Pulley-Systems** (Rotatorenintervallschlinge, roter gestrichelter Kreis), das von dem coracohumeralen Ligament (CHL) und dem superioren glenohumeralen Ligament (SGHL) gebildet wird und die lange Bizepssehne (LBS) unmittelbar vor dem Eintritt in den Sulcus intertubercularis zwischen T. majus und minus umschlingt. Bild modifiziert aus Nakata *et al.* (2011).

**b)** Ansicht von kranioventral, Markierung des **Rotatorenintervalls** (RI, gestrichelter Umriss) zwischen dem vorderen Rand der Supraspinatussehne (SSP) und der Subskapularissehne (SSC). Die ausbildenden Bandstrukturen, das coracohumerale Ligament (CHL), das superioren glenohumerale Ligament (SGHL) und die Kapsel wurden zur besseren Darstellung der vom Rotatorenintervall bedeckten langen Bizepssehne (LBS) entfernt. Schulterdach samt Anteile des Proc. coracoideus (Pc) und Acromion (Ac) wurden abgesetzt (Sternzeichen). Präparat aus der Sammlung des Anatomischen Instituts der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Die sogenannte Rotatorenintervallschlinge (Pulley-System) wird von den Ligg. coracohumerale und glenohumerale superius gebildet, die sich unmittelbar proximal des Sulcus intertubercularis zu einer Schlinge vereinen und die lange Sehne des M. biceps brachii kurz vor dem Eintritt in den Sulcus intertubercularis umschließen (Abb. 1.9) (3).

### 1.1.6. Rotatorenkabel



**Abb. 1.10 Rotatorenkabel (*Rotator Cable*) modifiziert aus Burkhart *et al.* (1993)**

Kraniale (a) und dorsale (b) Ansicht des Rotatorenkabels (K). Es verläuft aus dem Bereich der langen Bizepssehne (LBS) von dem ventralen T. majus bis zur unteren Grenze der Infraspinatussehne (ISP), erstreckt sich über die Insertionen der Mm. supraspinatus (SSP) und infraspinatus (ISP) und setzt dort am T. majus an. CZ, der mediolaterale Durchmesser der Crescent-Zone distal des Rotatorenkabels. TM, Sehne des M. teres minor.

Nach Burkhart (14) verstärkt sich das Fasersystem im superioren (kranialen) Bereich der Kapsel durch das zügelartig verlaufende Rotatorenkabel (*Rotator Cable*, Lig. semicirculare humeri (20, 27-29)), das vom ventralen T. majus bogenförmig und nahezu senkrecht zur Verlaufsrichtung der Mm. supra- und infraspinatus zur inferioren Grenze der Ansatzsehne des M. infraspinatus zieht und dort am T. majus ansetzt. Unmittelbar distal des Rotatorenkabels befindet sich die sogenannte Crescent-Zone (Rotatorenhalbmond, *Rotator Crescent*), wo die Gewebstärke dünner ist (Abb. 1.10). Das Rotatorenkabel nimmt den Stress wie eine Hängebrücke auf und verteilt ihn, wodurch das dünnere halbmondförmige Gewebe im distalen Bereich geschützt wird. Daher wird dem Rotatorenkabel eine protektive Rolle zugeschrieben.

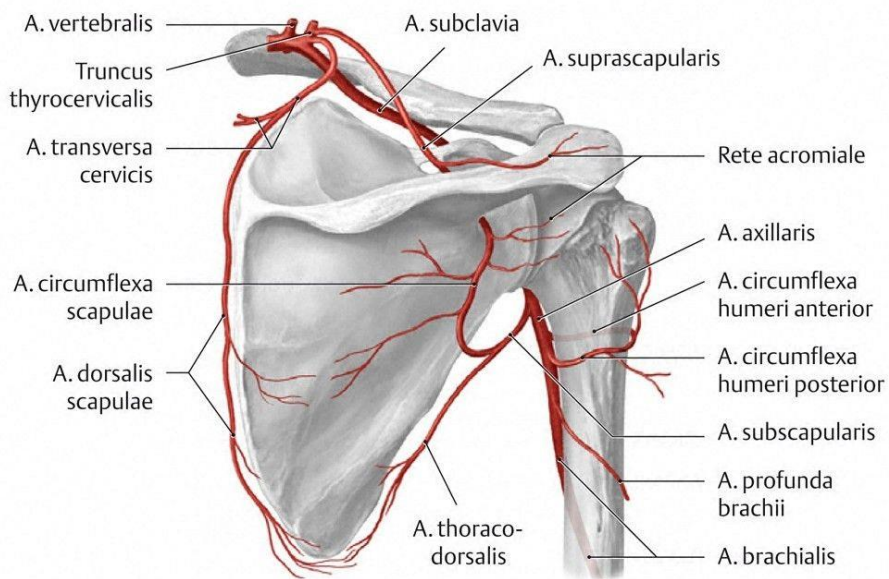
### 1.1.7. Bursa synovialis (Schleimbeutel)

Zu den Schleimbeuteln der Schulter gehören die kommunizierenden Bursen, Bursae subtendinea m. subscapularis und subcoracoidea und die nicht kommunizierenden Bursen, Bursae subacromialis und subdeltoidea. Im Gegensatz zu den nicht kommunizierenden Bursen haben die kommunizierenden eine direkte Verbindung zur Gelenkhöhle.

Die Bursa subtendinea m. subscapularis vermindert die Reibung zwischen der Subskapularissehne und der Vorderkante der Cavitas glenoidalis. Sie steht über das Foramen Weitbrecht mit der Gelenkhöhle in direktem Kontakt, während die Bursa subcoracoidea entweder direkt mit dem Gelenkraum kommuniziert oder sekundär über die Bursa subtendinea m. subscapularis (25).

Die Bursa subacromialis liegt zwischen dem Schulterdach (Fornix humeri) und den Ansatzsehnen der Rotatorenmanschette im subakromialen Raum und weist regelmäßig einen direkten Anschluss an die Bursa subdeltoidea auf. Die beiden Schleimbeutel bilden die Gelenkhöhle des sogenannten subakromialen Nebengelenks, das ein reibungsloses Gleiten des Humeruskopfes und der Ansatzsehnen der Rotatorenmanschette ermöglicht (9).

## 1.2. Blutversorgung der Rotatorenmanschette und hypovaskuläre Zone



**Abb. 1.11 Arterielle Versorgung der Rotatorenmanschette aus Schünke *et al.* (2011)**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsal. Die Äste der A. axillaris, der A. subscapularis und der A. dorsalis scapulae bilden gemeinsam die Schulterblattarkade und versorgen die Rotatorenmanschette. Der M. supraspinatus wird hauptsächlich über zwei Äste der A. suprascapularis und im distalen Sehnenabschnitt durch Äste der A. circumflexa humeri anterior und posterior versorgt.

Die Blutversorgung der Rotatorenmanschette spielt eine wichtige Rolle in der Pathogenese der Rotatorenmanschettendefekte. Insbesondere handelt es sich um die kritische Versorgungssituation der Supraspinatussehne, die sogenannte hypovaskuläre Zone. Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Blutversorgung der Supraspinatussehne makroskopisch sichtbar zu machen, die hypovaskuläre Zone zu lokalisieren, die Gefäßmorphologie in diesem Bereich näher zu beschreiben und die Häufigkeit der vorhandenen Defekte in diesem Bereich anhand des untersuchten Materials zu überprüfen.

Die arterielle Versorgung der Rotatorenmanschette erfolgt durch die Äste der A. subclavia. Die A. axillaris, als Fortsetzung der A. subclavia, bildet über die A.

subscapularis (A. circumflexa scapulae) mit der A. suprascapularis und der A. dorsalis scapulae (aus dem Truncus thyrocervicalis) die Schulterblattarkade und versorgt die Muskeln der Rotatorenmanschette (Abb. 1.11) (9).

Die Versorgung des M. supraspinatus wurde hinsichtlich der Ätiopathogenese von Rotatorenmanschettenrupturen mehrfach untersucht. Der M. supraspinatus wird hauptsächlich über zwei Äste der A. suprascapularis versorgt. Außerdem wird der distale Sehnenabschnitt durch Äste der A. circumflexa humeri anterior und posterior versorgt (30). In 76% der Fälle werden der anterosuperiore Abschnitt der Capsula articularis und die Sehne des M. supraspinatus zusätzlich durch einen Ast der A. thoracoacromialis versorgt (31).

Nach Tillmann und Koch (13) hat die Supraspinatussehne eine regional unterschiedliche Gefäßversorgung. In ihrem mittleren Abschnitt kann man in der dem Humeruskopf anliegenden Seite etwa 1 cm proximal des Tuberculum majus eine gefäßfreie Zone von etwa 1 cm Durchmesser erkennen (hypovaskuläre Zone). Des Weiteren ist die Supraspinatussehne ihrem Verlauf nach eine Gleitsehne. Der dem Widerlager (Humeruskopf) anliegende Teil der Sehne besteht aus Faserknorpel; die dem Widerlager abgewandte Seite hat die Struktur einer Zugsehne. Faserknorpel ist normalerweise gefäßfrei. Die Entstehung des Faserknorpels wird als eine physiologische und funktionelle Anpassung an die im Bereich des Widerlagers auf die Sehne einwirkenden Druck- und Schubkräfte angesehen.

### **1.3. Erkrankungen der Rotatorenmanschette**

Im Gegensatz zum knochengeführten bandgesicherten Hüftgelenk, erfolgt die Führung des Schultergelenks (Art. humeri) hauptsächlich muskulär. Die flache Gelenkpfanne der Scapula ist gegenüber der korrespondierenden Fläche des Caput humeri etwa drei- bis viermal kleiner. Dieses Missverhältnis verleiht zwar dem Schultergelenk die größte Bewegungsfreiheit am menschlichen Körper, verringert aber aufgrund einer mangelnden knöchernen Führung die Stabilität im Gelenk. Da auch der Bandapparat nur schwach ausgebildet ist, spielt vor allem die kräftige Muskulatur des Schultergelenks eine sehr wichtige Rolle für die Stabilität im Gelenk. Insbesondere handelt es sich um die Muskeln der Rotatorenmanschette, die nicht nur wie die meisten anderen Gelenke die Kraftübertragung gewährleisten sondern auch das Schultergelenk führen und in seiner Position sichern (9). Das Aufbauprinzip der Supraspinatussehne entspricht im Bereich des Widerlagers (Humeruskopf) dem einer Gleitsehne nach Plötz (32). Aufgrund der anlagebedingten Enge unter dem Schulterdach (Fornix humeri) und der vaskulären Verhältnisse der Supraspinatussehne sind die betroffenen Strukturen besonders verwundbar. Nicht nur die anatomischen Formvarianten des Acromion (s. oben) sondern auch die Störungen der Gelenkzentrierung, Verkalkungen und Verdickungen im Sehnenbereich können unter anderem zu einem pathologischen Kontakt zwischen der Rotatorenmanschette und dem Schulterdach führen, der unter dem Begriff „Impingementsyndrom“ (subakromiales Impingement, Subakromialsyndrom) verstanden wird (9, 33). Im Allgemeinen handelt es sich um nichtentzündlich-rheumatisch verursachte Affektionen der Rotatorenmanschette, der langen Bizepssehne und der Bursa subacromialis/subdeltoidea, die erkrankungs- oder verletzungsbedingter Natur sind (34).

#### **1.3.1. Epidemiologie**

Die häufigsten Schultererkrankungen entstehen im subakromialen Bereich. Da sich die meisten epidemiologischen Untersuchungen vorwiegend nur mit Weichteilerkrankungen der Schulter oder Schulterschmerz beschäftigen, ist die Häufigkeit der subakromialen Syndrome und ihre Altersverteilung nicht genau bekannt und sehr widersprüchlich in der Literatur zu finden. Etwa  $\frac{3}{4}$  aller Defekte der Rotatorenmanschette sind symptomfrei. Obwohl sich die Häufigkeit der Rotatorenmanschettendefekte im Alter erhöht, nimmt die klinische Manifestation der

Erkrankung um das 70. Lebensjahr wieder ab. Im Alter von 50-60 Jahren geht man von einer Häufigkeit kompletter Defekte von etwa 10-15% aus, während sie im 7. Lebensjahrzehnt auf 20-30% und im 8. Lebensjahrzehnt auf über 30% steigt (34). Bei den asymptomatischen Patienten fanden Tempelhof *et al.* (35) in 23% der Fälle komplette Rotatorenmanschettenrupturen. Bei einer anatomischen Untersuchung von Ogata und Uhthoff (36) zeigten 47% der Leichenpräparate Partial- und 25% Totalrupturen. Bei einer von Reilly *et al.* (37) durchgeführten Metaanalyse von Kadaverstudien und radiologischen Untersuchungen lag die Prävalenz sämtlicher Rupturen bei 30,24%. Davon waren 18,49% Partialrupturen und 11,75% komplette Rupturen.

Am häufigsten beginnt ein Defekt der Rotatorenmanschette gelenkseitig oder intratendinös als Partialdefekt. Allerdings können Defekte auch bursaseitig beginnen. Die gelenkseitigen Partialdefekte werden mehr als doppelt so häufig beobachtet wie die der Bursa-Seite (34).

### 1.3.2. Ätiologie und Pathogenese

Hauptverantwortlich für die Defekte der Rotatorenmanschette sind die degenerativen Prozesse im Sehnen-Kapsel-Apparat in Kombination mit der kritischen Vaskularisation in der Sehnenansatzregion (*Critical Zone*). Darüber hinaus spielt die anatomische Enge des Subakromialraumes insbesondere bei Läsionen der Supraspinatussehne eine pathogenetische Rolle. Seltener zeigen sich traumatische Rupturen, die häufig als eine traumatische Aktivierung vorbestehender Läsionen zu verstehen sind. Die pathologische Einteilung beinhaltet ein breites Spektrum an Läsionen von einfachen Tendinopathien mit begleitender Bursitis über Partialrupturen bis hin zu kompletten Massenrupturen einer oder mehrerer Sehnen der Rotatorenmanschette (34).

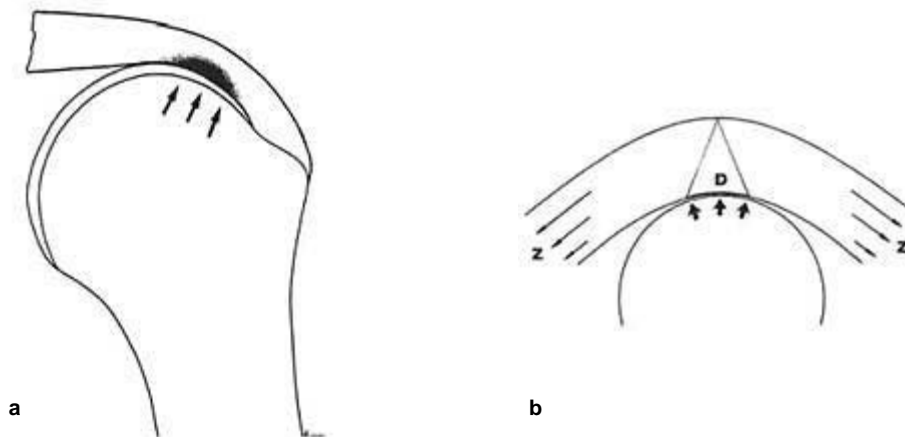
#### Intrinsische Tendinopathie

Diese Theorie bezieht sich auf die primär degenerativen Veränderungen der Sehne. Die Versorgungssituation der Rotatorenmanschettenmuskeln, insbesondere die der Supraspinatussehne, wird als wichtiger ätiologischer Faktor angesehen. Codman (23) bezeichnete diesen Bereich, der ca. 1 cm proximal der Insertion der Supraspinatussehne liegt, als kritische Zone (*Critical Zone*). Nach Uhthoff *et al.* (38) ist eine primäre Tendinopathie hauptverantwortlich für die degenerativen Rupturen der Rotatorenmanschette. Die vorherrschende Meinung bis dahin stammt von Neer, der von sekundär durch Impingement verursachten Läsionen ausging (39-41). Die



Supraspinatussehne wird vom Humeruskopf als Hypomochlion auf Druck beansprucht und gilt daher nicht als eine reine Zugsehne sondern stellt eine Gleitsehne dar, die im Kontaktbereich aus Faserknorpel besteht (Abb. 1.12) (13, 42). Dies erklärt die zwangsläufige Hypo- bzw. Avaskularität der kritischen Zone.

Weitere Untersuchungen zeigen Einlagerungen von Glykosaminoglykanen bzw. Proteoglykanen in der Supraspinatussehne, als eine funktionelle Anpassung auf mechanischen Druck und bestätigen den faserknorpeligen Aufbau als Gleitsehne (43).



**Abb. 1.12 Faserknorpelige Zone der Supraspinatussehne aus Tillmann *et al.* (1995)**

**a)** Schematische Darstellung der Ansatzsehne des M. supraspinatus. Die Sehne wird vom Humeruskopf als Hypomochlion auf Druck beansprucht (Pfeile) und besteht in diesem Bereich aus Faserknorpel (dunkle Markierung).

**b)** Schematische Darstellung der Spannungsverteilung in einer Gleitsehne am Hypomochlion. Am Wiederlager herrschen hohe Druckspannungen (D), die peripherwärts abnehmen. Die Zugspannungen (Z) sind im äußeren Bereich am höchsten.

In der Literatur gibt es viele Beschreibungen zur Degeneration der Sehnen, die zum Teil fließende Übergänge zu Altersveränderungen aufweisen (34). Dazu gehören unter anderem fettige Infiltration (44), Ausdünnung und Desorganisation von Kollagenfasern, Gefäßproliferation, chondroide Metaplasie und Kalzifizierung (45, 46). Warum es generell zu einer Degeneration des Sehngewebes in der Rotatorenmanschette kommt, ist heute nach wie vor nicht vollständig geklärt. Als Ursachen sind beispielsweise hohes Lebensalter, Dauerbeanspruchung bei Sportlern, vermehrte Überkopftätigkeit, ligamentäres bzw. knöchernes Impingement oder eine langzeitige Kortisontherapie zu nennen (47).

### Subakromiales Impingement

Das subakromiale Impingement beschreibt eine Kompression des M. supraspinatus und seiner Sehne in einem osteofibrösen Kanal zwischen dem Schulterdach (Fornix humeri) und dem Humeruskopf (Caput humeri). Verschiedene Veränderungen können im subakromialen Bereich zu einem Impingementsyndrom führen, wie zum Beispiel:

Verkalkungen (Kalk-Depot, Tendinosis calcarea) und Verdickungen der Supraspinatussehne, Veränderungen des Schulterdaches wie ein Acromion-Sporn, Ossifikationen im Lig. coracoacromiale (34) oder anatomische Formvarianten des Acromion (Abb. 1.3, Seite 3). Nach Bilgiani *et al.* (7) wird das Entstehen eines Impingements durch Formvarianten vom Typ II und III begünstigt, wobei deren Bedeutung in der Literatur kontrovers diskutiert wird. Während manche Untersuchungen eine Korrelation zwischen den Formvarianten und einer Einengung des Subakromialraums feststellen konnten (48), stellten die anderen deren Bedeutung als primäre Ursache in Frage (49).

Schon im Jahr 1937 war Meyer (50) der Meinung, dass die Läsionen der Rotatorenmanschette nicht auf Grund außerordentlicher Belastungsverhältnisse entstehen, sondern vielmehr als eine Folge repetitiver alltäglicher Normalbewegungen zu verstehen sind. Die von ihm beschriebenen morphologischen Veränderungen der Weichteile wurden später von Neer weiter bearbeitet.

Das Impingementsyndrom nach Neer (24) wurde 1972 in drei Stadien eingeteilt:

- Stadium I: Ödem und Einblutung in der Rotatorenmanschette
- Stadium II: Fibrose und Tendinitis mit Sehnenverdickung
- Stadium III: Sehndefekte als partielle oder komplette Rupturen und knöcherne Veränderungen des Schulterdaches

Später differenzierte er seine Impingement-Theorie in das „Outlet-Impingement“ und „Non-Outlet-Impingement“. Bei dem Non-Outlet-Impingement liegt eine relative subakromiale Enge vor. Darunter versteht man, dass das Volumen der subakromialen Strukturen für den zur Verfügung stehenden Raum einfach zu groß ist (51). Bezüglich der Impingement-Theorie finden sich gegenteilige Aussagen in der Literatur. Anders als von Neer wird Impingement heute vorwiegend nur als Teilfaktor in der Pathogenese der Subakromialsyndrome angesehen (34).

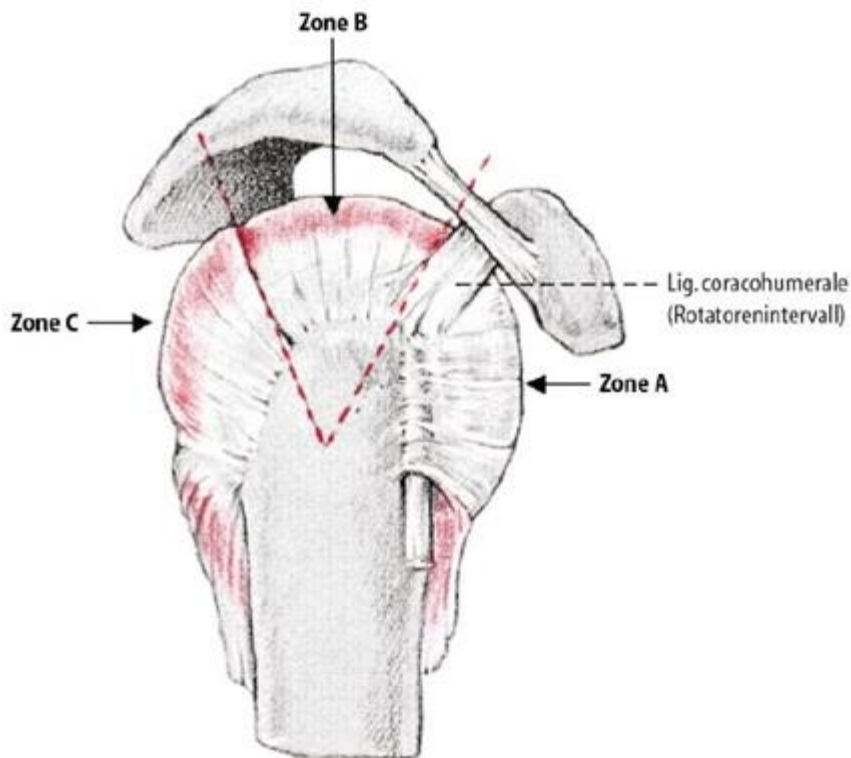
Des Weiteren werden neuromuskuläre Insuffizienz (52) (im Zusammenspiel von Rotatorenmanschettenmuskeln und weiteren Schultermuskeln) sowie Instabilitäten als Ursache eines funktionellen (sekundär) Impingements diskutiert (34).

## **1.4. Klassifikation der Rotatorenmanschettenrupturen**

Für die Beschreibung und Dokumentation von Rotatorenmanschettendefekten gibt es zahlreiche Klassifikationssysteme in der Literatur, die je nach Untersuchungsmethode bzw. therapeutischem Vorgehen, unterschiedliche Kriterien berücksichtigen. Zu den Kriterien gehören vor allem: Ursache, Lokalisation, Morphologie, Rissgröße und Schweregrad von Defekten der Rotatorenmanschette. Während ein Teil der Klassifikationen auf anatomischen Untersuchungen basiert, beruhen die anderen auf bildgebenden Untersuchungsverfahren (Sonographie/MRT), minimal-invasiven (Arthroskopie) bzw. offen-chirurgischen Vorgehensweisen. Die Entscheidung für das therapeutische Vorgehen ist vom Ausmaß der Ruptur und dem Grad der Einschränkungen abhängig. Andererseits kann man keine genaue therapeutische Vorgehensweise anhand der Rissgröße vorhersagen. Aus diesen Gründen gibt es keine einheitliche Klassifikation, die alle Kriterien gleichermaßen erfasst und gleichzeitig unterschiedliche Untersuchungsmethoden miteinbezieht. Die vorliegende Arbeit befasst sich in Kapitel 3 (Ergebnisse) mit der Morphologie, der Lokalisation und dem Schweregrad der vorhandenen Rotatorenmanschettendefekte in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Zur möglichst genauen Dokumentation wurden daher die Klassifikationssysteme in Kombination eingesetzt.

Im Folgenden werden zunächst die Klassifikationen nach Habermeyer, Ellman und Bateman vorgestellt, welche in die Leitlinien der AWMF (Arbeitsgemeinschaft der medizinischen Fachgesellschaften, Stand: Dezember 2003) einbezogen wurden. Anschließend werden zusätzlich weitere Klassifikationen nach Rowe, Goutallier und Patte aufgeführt.

### 1.4.1. Klassifikation (Sektoreneinteilung) nach Habermeyer



**Abb. 1.13 Sektoreneinteilung der Rotatorenmanschette nach Habermeyer (5) aus Braune *et al.* (2000)**  
Zone A (M. subscapularis), B (M. supraspinatus) und C (M. infraspinatus)

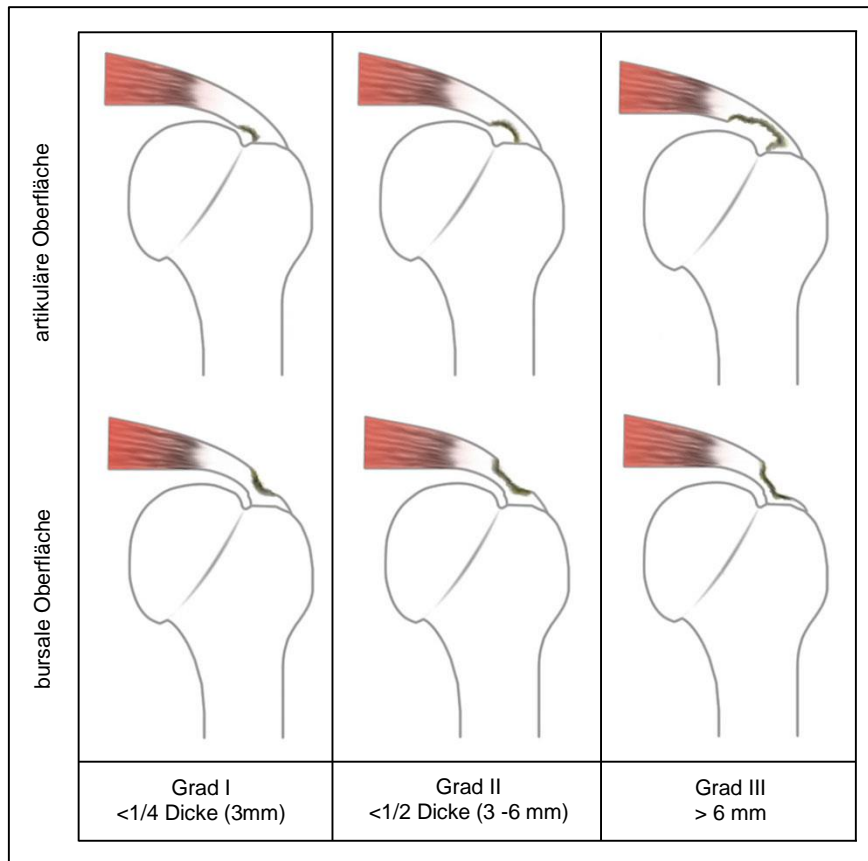
Zur Lokalisation der Ruptur wird die Rotatorenmanschette nach Habermeyer (5) in drei Zonen eingeteilt:

- Zone A: ventrale Abschnitte mit Subskapularissehne, Rotatorenintervall und langer Bizepssehne
- Zone B: kranialer Abschnitt im Bereich der Supraspinatussehne
- Zone C: dorsale Läsionen im Bereich der Mm. infraspinatus und teres minor

Die anatomische Lokalisation der Rotatorenmanschettenrupturen wird dann anhand dieser Zoneneinteilung durchgeführt (Abb. 1.13). So lassen sich die Rupturen des M. subscapularis in Zone A, die des M. supraspinatus in Zone B sowie die des M. infraspinatus in Zone C erkennen.

## 1.4.2. Klassifikation nach Ellman

### I. Klassifikation



**Abb. 1.14 Klassifikation nach Ellman (4) reproduziert aus Krieter (2008)**

Schematische Darstellung einer Partialruptur nach Ellman, von links nach rechts Grad I bis Grad III

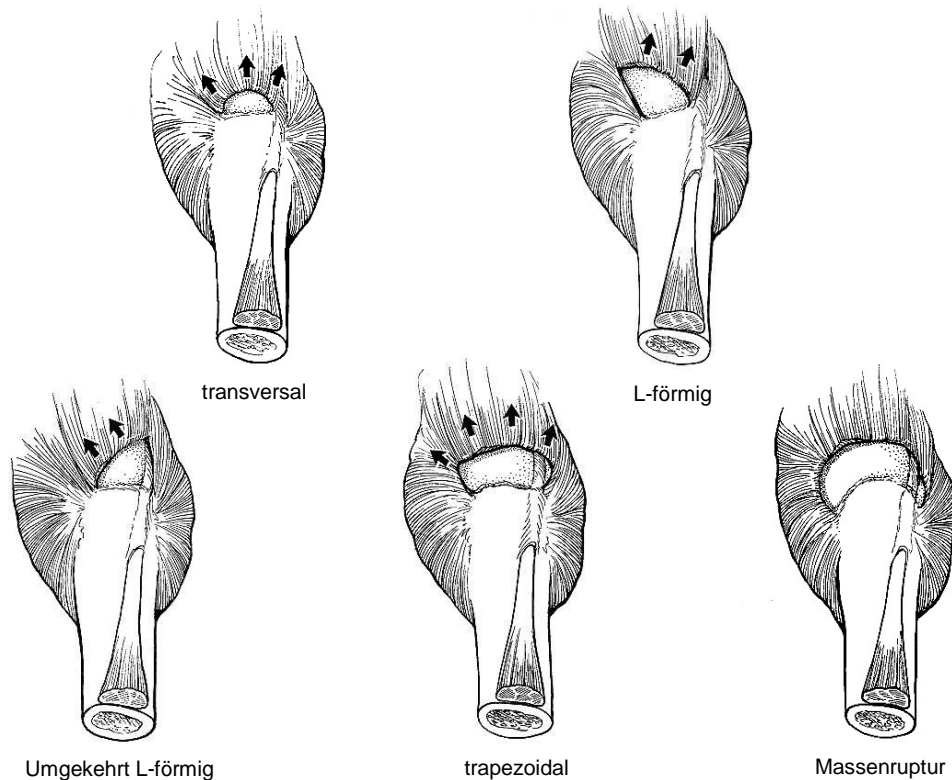
**Oben)** Artikuläre (gelenkseitige) Ruptur

**Unten)** Bursale (bursaseitige) Ruptur

Diese Klassifikation (4) beruht auf arthroskopisch festgestellten Partialrupturen bezogen auf den gesamten Sehnendurchmesser (Abb. 1.14):

- A Artikuläre (gelenkseitige) Partialruptur
- B Bursale (bursaseitige) Partialruptur
- Grad I Durchmesser < 1/4 oder < 3 mm
- Grad II Durchmesser < 1/2 oder < 3-6 mm
- Grad III Durchmesser > 6 mm

## II. Rupturformen



**Abb. 1.15 Rupturformen nach Ellman (4) aus Krieter (2008)**

Schematische Darstellung der Rupturformen der Rotatorenmanschette.

**Oben)** Von links nach rechts: transversal (*crescent*), L-förmig (*L-Shaped*)

**Unten)** Von links nach rechts: umgekehrt L-förmig (*reverse "L"*), trapezoidal und Massenruptur (*Massive Tear*)

Ellman (4) fasst die Rupturformen der Rotatorenmanschette (Abb. 1.15) wie folgt zusammen:

- Transversal: Ruptur an Insertionsstelle
- Crescent cable: Transversalruptur mit Deformierung durch SSC/ISP-Zug
- L-förmig: Transversalruptur mit Ausbreitung in das Intervall zwischen SSP und ISP
- Reverse L-förmig: Transversalruptur mit Ausbreitung ins Rotatorenintervall
- Trapezoidal: L-förmig und umgekehrt (*reverse*) L-förmig
- Rotatorenmanschetten-Massenruptur: Ausbreitung in M. teres minor oder den anterioren Bereich des M. subscapularis

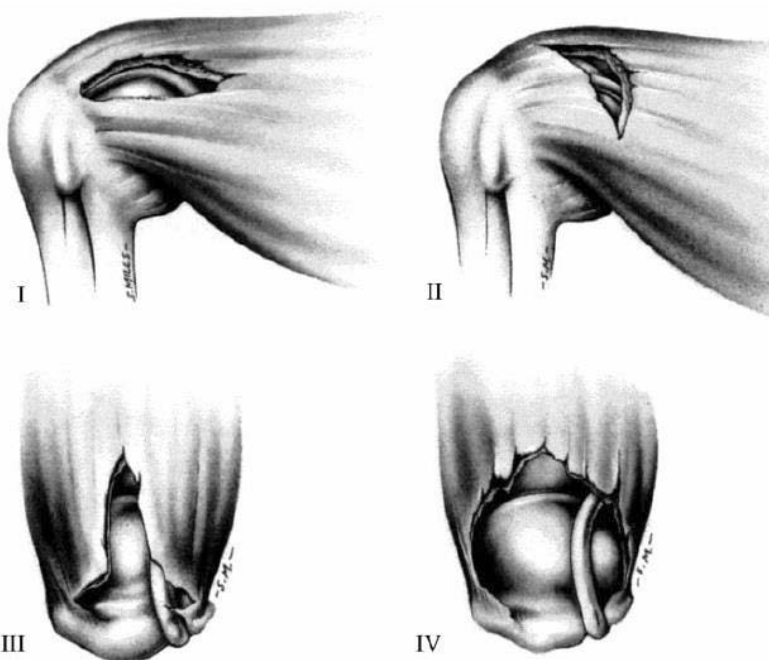
### 1.4.3. Klassifikation nach Bateman

Bateman (53) teilt die kompletten Defekte der Rotatorenmanschette anhand der Rupturgröße in vier Schweregrade:

- Grad I < 1 cm Risslänge
- Grad II 1 - 3 cm Risslänge
- Grad III 3 - 5 cm Risslänge
- Grad IV > 5 cm Risslänge, mindestens zwei Sehnen

Die im folgenden Abschnitt aufgeführten Klassifikationen werden ebenfalls häufig eingesetzt:

### 1.4.4. Klassifikation nach Rowe



**Abb. 1.16 Makroskopische Einteilung der Rotatorenmanschettenruptur nach Rowe (6) aus Braune *et al.* (2000)**

**Oben)** Ansicht von ventral, I: longitudinal, II: transversal,  
**Unten)** Ansicht von kranial, III: triangulär, IV: Massenruptur

Rowe (6) teilt die kompletten Rotatorenmanschettendefekte morphologisch in longitudinale (Längsriss), transversale (Querriss), trianguläre (kombiniert) und Massenruptur (Humeruskopfglatze) ein (Abb. 1.16).

### 1.4.5. Klassifikation nach Patte

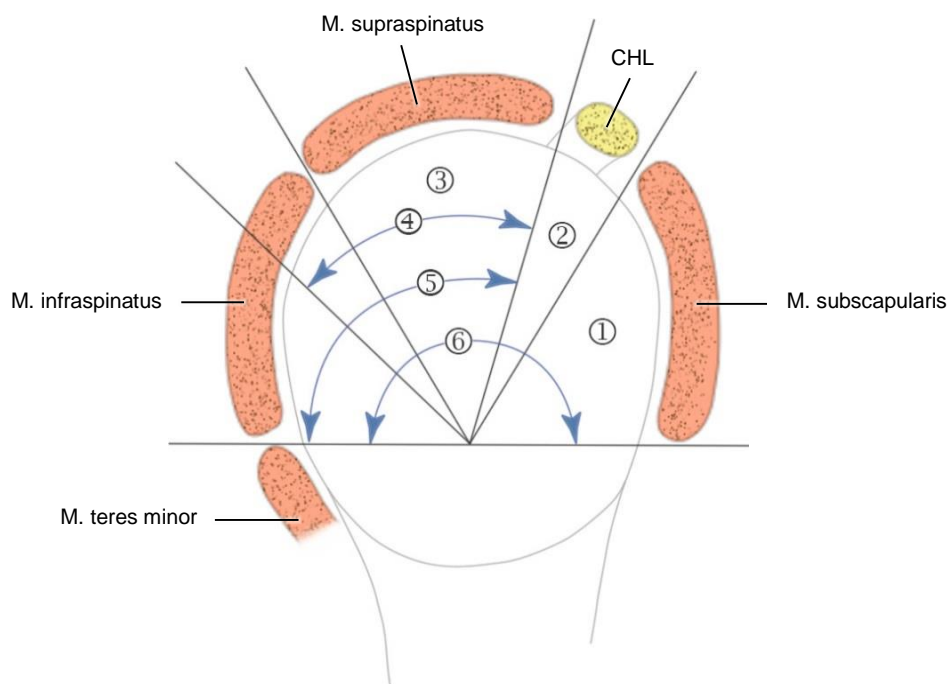
In der Klassifikation nach Patte (10) werden folgende Kriterien berücksichtigt, die anschließend im Einzelnen aufgeführt sind: Ausdehnung der Ruptur, Topografie der Ruptur in der Sagittal- und Frontalebene. Zusätzlich werden die trophische

Muskelqualität und der Zustand der langen Bizepssehne mitbeurteilt, worauf hier nicht näher eingegangen wird.

### I. Ausdehnung der Ruptur:

- Gruppe I: Inkomplette oder komplette Ruptur in der Sehnendicke <1 cm sagittal
  - a. Tiefe Partialruptur
  - b. Oberflächliche Ruptur
  - c. Kleine Ruptur über die gesamte Dicke der Sehne
- Gruppe II: Komplette Ruptur über die gesamte Dicke der Supraspinatussehne
- Gruppe III: Komplette Ruptur mit Beteiligung von mehr als einer Sehne
- Gruppe IV: Vollständige Ruptur der Rotatorenmanschette mit Osteoarthrose

### II. Topografie der Ruptur in der Sagittalebene:



**Abb. 1.17 Klassifikation nach Patte in der Sagittalebene reproduziert aus Patte (1990)**

Die Rupturen der Rotatorenmanschette werden je nach Lokalisation und Ausdehnung in Segment 1 bis 6 eingeteilt: ① isolierte Ruptur des M. subscapularis, ② des Lig. coracohumerale (CHL), ③ des M. supraspinatus, ④ Ruptur des M. supraspinatus und der oberen Hälfte des M. infraspinatus, ⑤ Ruptur des M. supraspinatus und der gesamten M. infraspinatus, ⑥ Massenruptur der Rotatorenmanschette

Je nach Lokalisation und Ausdehnung werden die Rupturen einem bestimmten Segment in der Sagittalebene zugeordnet (Abb. 1.17):

Segment 1 Isolierte Ruptur des M. subscapularis

Segment 2 Isolierte Ruptur des Lig. coracohumerale (Rotatorenintervall)

Segment 3 Isolierte Ruptur des M. supraspinatus

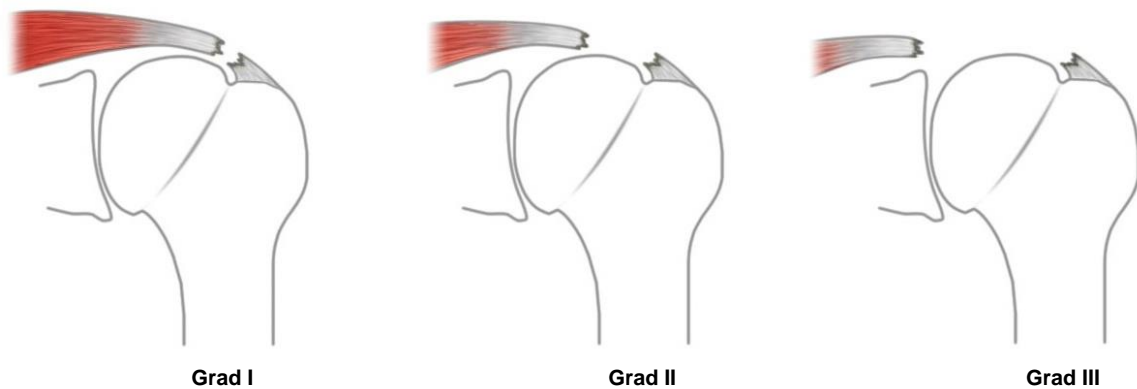


- Segment 4 M. supraspinatus und die obere Hälfte des M. infraspinatus
- Segment 5 M. supraspinatus und der gesamte M. infraspinatus
- Segment 6 Massenruptur der Rotatorenmanschette: Mm. subscapularis, supra- und infraspinatus

Die Lokalisation und Ausdehnung der Ruptur ermöglicht die Einteilung in:

- Segment 1, 2, 3 Anterior-superiore Rupturen
- Segment 2, 3 Superiore Rupturen
- Segment 4, 5 Posterior-superiore Rupturen
- Segment 6 Massenruptur der Rotatorenmanschette

### III. Topografie der Ruptur in der Frontalebene:



**Abb. 1.18 Retraktion des Sehnenstumpfes nach Patte in der Frontalebene reproduziert aus Patte (1990)**  
 Proximaler Sehnenstumpf einer rupturierten Supraspinatussehne: bis zum Apex humeri (**Grad I**), zwischen Apex humeri und Glenoidrand (**Grad II**), jenseits des Glenoids (**Grad III**)

Patte teilt die Retraktion des Sehnenstumpfes in der Frontalebene in drei Schweregrade (Abb. 1.18):

- Grad I Proximaler Sehnenstumpf insertionsnah bis zum Apex humeri
- Grad II Proximaler Sehnenstumpf zwischen Apex humeri und Glenoidrand
- Grad III Proximaler Sehnenstumpf jenseits des Glenoids

#### **1.4.6. Klassifikation nach Goutallier**

Eine modifizierte Einteilung der Retraktion des Sehnenstumpfes nach Goutallier (54) erfolgt in vier Schweregrade:

- Grad I Bis zur Hälfte der Distanz zwischen T. majus und Humeruskopfmitte
- Grad II Retraktion bis zur Humeruskopfmitte
- Grad III Zwischen Humeruskopfmitte und Glenoid
- Grad IV Retraktion bis hinter das Glenoid

## 1.5. Fragestellung und Ziele

Die anatomischen Grundlagen der Rotatorenmanschette spielen eine wichtige Rolle für die Ätiopathogenese, klinische Diagnostik und adäquate chirurgische Therapie der strukturellen Defekte.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die anatomischen Besonderheiten der Mm. Supra- und infraspinatus hervorzuheben, ihre strukturellen Defekte zu analysieren und die möglichen Zusammenhänge zu erfassen.

Hinsichtlich der Sehneninsertionen am Humerus lassen sich heterogene Beschreibungen in der Literatur feststellen. Diese durchaus feinen Unterschiede sollten im Vergleich zu den eigenen Ergebnissen diskutiert werden. Außerdem sollte die hypovaskuläre Zone des M. Supraspinatus makroskopisch dargestellt und ihre Bedeutung für die pathologischen Veränderungen der Sehne analysiert werden.

Die Untersuchungen beschäftigten sich daher vorwiegend mit den Mm supra- und infraspinatus im Hinblick auf folgende Schwerpunkte/Fragen:

- Anteile und Verlauf: Lassen sich regelmäßig vorkommende Anteile der beiden Muskeln nachweisen? Wie verlaufen sie?
- Insertion und Ansatz am Humerus: Eine aktuelle Studie weist auf eine kleinere Insertionsfläche des M. supraspinatus und eine größere Insertionsfläche des M. infraspinatus hin als bisher bekannt. Sind diese Ergebnisse nachvollziehbar? Wie stellen sich die Facetten am T. majus dar? Lässt sich eine Beziehung zwischen Facetten und Sehneninsertionen vermuten?
- Kreuzungszone und Beziehung der Muskeln zueinander: Ist eine Kreuzungszone der beiden Muskeln makroskopisch nachzuweisen? Wo und wie kreuzen sich die Sehnen? Welche Bedeutung hat diese Kreuzung?
- Form, Ausdehnung sowie Lokalisation der hypovaskulären Zone: Lässt sich die bisher bekannte Lage und Form der hypovaskulären Zone bestätigen? Wie ist die anterior-posteriore Lage der Zone? Gibt es Hinweise, dass in diesem Bereich bevorzugt Defekte auftreten? Wie ist die Gefäßmorphologie im Grenzbereich? Hat diese Gefäßmorphologie eine Bedeutung?
- Morphologie, Ausdehnung und Lokalisation der muskulotendinösen Defekte: Wo und in welchem Stadium befinden sich die Defekte? Welcher Muskel bzw. welche Anteile sind betroffen? Ist der Defekt im Bereich der hypovaskulären Zone lokalisiert? Wie oft ist die Kreuzungszone der Sehnen befallen?

## **2. Material und Methoden**

### **2.1. Material**

#### **2.1.1. Herkunft der Schulterpräparate**

Das untersuchte Material stammt von Körperspendern, die Ihren Körper dem Anatomischen Institut der Christian-Albrecht Universität zu Kiel für Ausbildung und Wissenschaft testamentarisch zur Verfügung gestellt haben.

Für die Untersuchung des musklotendinösen Verlaufs und der Defekt-Morphologie der Rotatorenmanschette wurden 30 Schulterpräparate hergestellt, die von 8 männlichen und 7 weiblichen Körperspendern im Alter von 61-93 Jahren mit einem medianen Alter von 82 Jahren und einem Altersmittelwert von  $79,93 \pm 8,88$  Jahren stammten. 27% der Präparate (acht Präparate) wiesen bursaseitig erkennbare Defekte der Supraspinatussehne auf, die zur Beschreibung und zum Vergleich der vorhandenen Rupturen weiter untersucht wurden. Abschließend erfolgte die Mazeration der Präparate zur Untersuchung der Ansatzflächen am Humerus.

Die Darstellung der Gefäßversorgung der hypovaskulären Zone des M. supraspinatus ist das Ergebnis anschließender Untersuchungen, die sich auf 18 weitere en-bloc entnommene Schulter-Arm-Präparate (von 9 Körperspendern) beziehen. Davon waren 12 Präparate fixiert und 6 nicht fixiert. Diese wurden erst nach der Prozedur der Tusche-Gelatine-Injektion fixiert. Es handelte sich hier um 10 männliche und 8 weibliche Schulterpräparate von Spendern zwischen 65 und 86 Jahren. Das mediane Alter lag bei 74 Jahren und der Altersmittelwert betrug  $75 \pm 6,99$ . Präparate mit einer Partial- oder Totalruptur wurden von dieser Untersuchung ausgeschlossen.

#### **2.1.2. Präparate für die Histologie**

Die Gewebeproben für die histologische Untersuchung wurden aus den bereits unter 2.1.1 beschriebenen Schulterpräparaten gewonnen.

##### Lichtmikroskopie

Zur lichtmikroskopischen Untersuchung der hypovaskulären Zone des M. supraspinatus wurden Proben aus dem distalen (lateralen 2-3 cm) Bereich der Supraspinatussehne entnommen.

### Rasterelektronenmikroskopie:

Bei dem untersuchten Material handelte es sich um Gewebeblöcke aus dem distalen (lateralen) Endabschnitt der Supra- und Infraspinatussehne, deren Größe im Mittel ca. 1,2 x 0,5 cm betrug.

#### 2.1.3. Chemikalien

Alkohol, techn.	
Benzol	Merck
Benzylbenzoat	Merck
EDTA (Ethyldiamintetraacetat)	Merck
Eosin	Roth
Ethanol, unvergällt	Roth
Formalin	Merck
Glycerin	Merck
Hämalaun	Roth
Isopropanol	Roth
Methylbenzoat	Merck
Methylsalicylat (Wintergrünöl)	Merck
NaOH	Roth
Natriumhypochlorit (NaOCl)	Merck
Osmium	Merck
Taninsäure	Merck

#### 2.1.4. Lösungen, Puffer und Medien

Alkohol-Lösung, Ethanol 70%ig		Roth
EDTA-Lösung, 20%ig		Merck
Eindeckelmedium, DePex		Serva
Eosin 0,1%, wässrig	0,1 g Eosin Y in 100 ml H <sub>2</sub> O <sub>dest</sub> 1 Tropfen Essig	Roth
Gelatine		Merck
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 3%ig		Roth
H <sub>2</sub> O <sub>dest</sub>		
Hämalaun, sauer nach Meyer		Roth
Isohexan		
NaOH, 10%ig in H <sub>2</sub> O <sub>dest</sub>		Roth
NaOCl-Lösung, 5%ig		Merck
Osmium, 1%ig in H <sub>2</sub> O <sub>dest</sub>		Merck

Paraffin		Roth
Paraformaldehyd, 4%ig	PBS 4% Paraformaldehyd auf 65°C erwärmen mit 0,1% 1N NaOH klären filtrieren	Roth
Phosphatpuffer (PBS, 0,1 M, PH 7,3)	136 mM NaCl 2,7 mM KCl 1,8 mM KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> 8 mM Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 2 H <sub>2</sub> O	Gibco
Salzsäure (HCL), 0,02%ig,		Roth
Taninsäure, 1%ig in H <sub>2</sub> O <sub>des</sub>		Merck
Tusche		

## 2.1.5. Instrumente

### Präparierbesteck, ClinicCare:

Präparierschere 11,5 cm, spitz/spitz  
 Inzisionsschere mit Knopf 14 cm  
 Hautmesser  
 Muskelmesser  
 Nerven-Gefäß-Messer  
 Pinzette, anatomisch, stumpf 14 cm  
 Pinzette, anatomisch, spitz 13 cm  
 Knopfsonde doppelendig, 2 mm, 14 cm  
 Knopfsonde doppelendig ,1 mm, 14 cm

### Weitere Instrumente:

Chirurgische Schere, Metzenbaum, 14 cm, stumpf/stumpf, gebogen  
 Raspatorium  
 Skalpell-Griff, Bayha, 13 cm  
 Skalpellklingen, Bayha, Klinge Nummer 15,18,20  
 Oszillierende Säge  
 Pinsel  
 Hohlmeisselzange, Friedmann, Standard, 30° gebogen, 14 cm  
 Lindemannfräse, HM 167RF, für Handstück  
 Chirurgischer Fräser „Allport“ Kugel, Durchmesser 5,0 mm, lang, für Handstück  
 Scharfer Löffel nach Volkmann, Löffeldurchmesser 7 mm

## 2.1.6. Geräte / Software

### Lichtmikroskopie

Auflichtmikroskop, Zeiss Axiophot  
Objektträger, HistoBond®  
Rotationsmikrotom, Leica Microsystems RM2165  
Heißwasserbad, Medax  
Wärmeschrank, Memmert  
Digitalkamera, Zeiss AxioCam HRc  
Software, Zeiss AxioVision

### Fotografie-Set

Digitalkamera Olympus E620, 12,3 MP  
Standard Zoomobjektiv, ZUIKO DIGITAL 14-45mm 1:3.5-5.6 Digital SLR Olympus  
Lichtstarkes Makroobjektiv, ZUIKO DIGITAL ED 50 mm Makro 1:2.0  
Software OLYMPUS Master 2  
Studialeuchten, Kaiser Studiolight H

### Elektronenmikroskopie

Rasterelektronenmikroskop Phillips XL 20  
Kritische Punkt-Trockner (*Critical Point Dryer*), Balzer CPD 030  
Sputter-Beschichtungsanlage, Vakuum, Ion Technologies Ltd.

### Bildbearbeitung

Adobe Photoshop Elements 9

## **2.2. Methoden**

### **2.2.1. Fixierung und Lagerung**

Zur Fixierung der Körperspender wurde eine Fixierlösung aus 76% Ethanol, 8% Formalin, 8% Glycerin und 8% H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub> in die A. femoralis injiziert. Die fixierten Präparate wurden in 70%iger Alkohol-Lösung bei Raumtemperatur gelagert.

Die Lagerung der nicht fixierten Präparate erfolgte in einem Tiefkühlraum bei -20 °C. Nach Injektion mit Tusche-Gelatine-Lösung wurden die Präparate in einer Immersionslösung (wie Fixierlösung, s. oben) nachfixiert.

### **2.2.2. Präparation der Rotatorenmanschette**

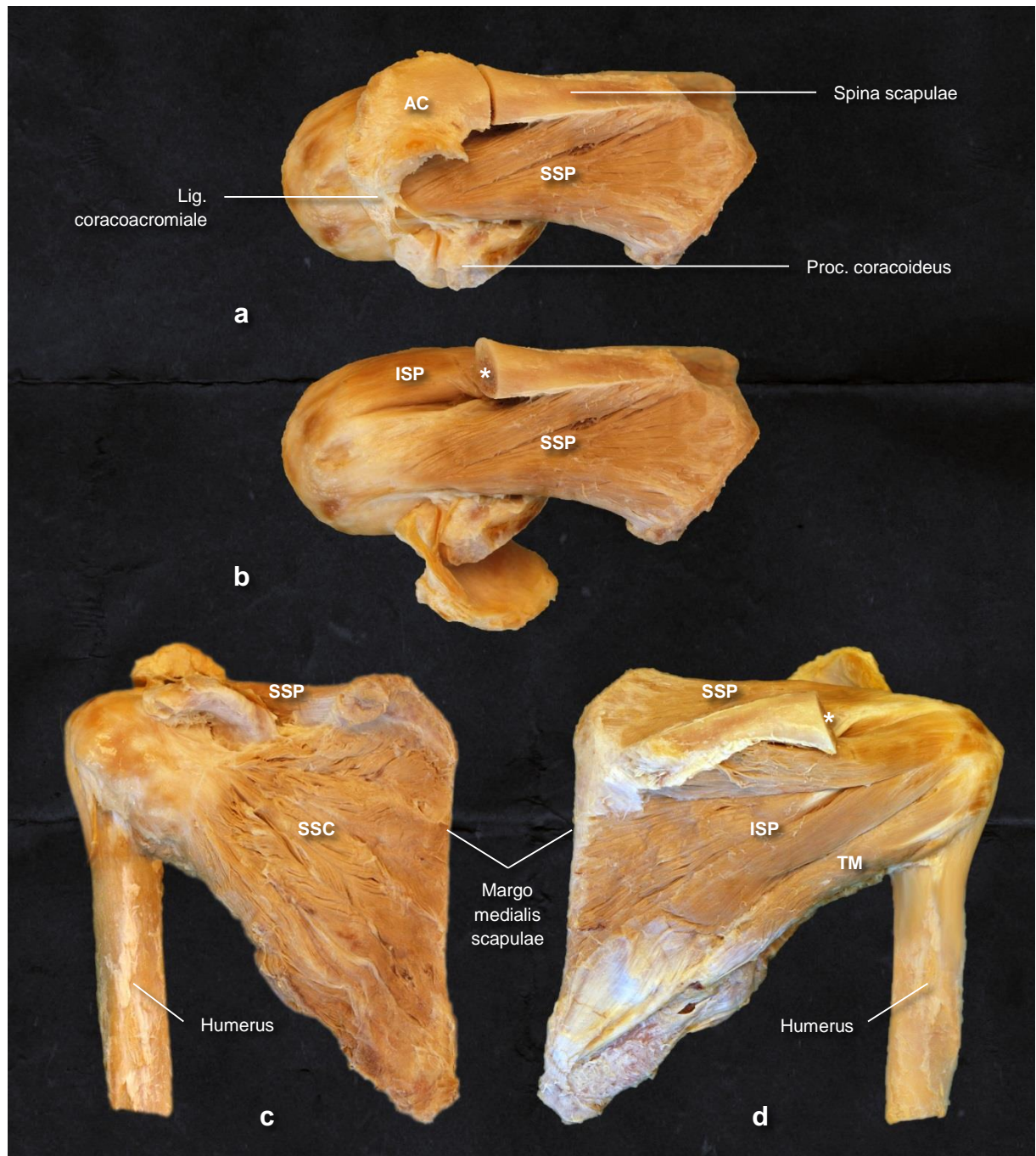
Die Schulterpräparate wurden primär im Rahmen des Präparierkurses im Jahr 2010 hergestellt. Bei dieser Präparation wurden zuerst die Haut und das Unterhautfettgewebe entfernt sowie die epifaszialen Leitungsbahnen freigelegt. Anschließend wurden das restliche Bindegewebe und die Faszien entfernt und die Muskulatur und subfasziale Leitungsbahnen dargestellt.

Die hergestellten Präparate wurden für die weiteren Untersuchungen verwendet. Zur Entnahme der oberen Extremität wurden die am Schulter- bzw. Oberarmknochen ansetzenden Muskeln (Schultergürtelmuskulatur: Mm. trapezius, omohyoideus, sternocleidomastoideus, serratus anterior, subclavius, pectoralis minor, levator scapulae, rhomboideus major und minor, Schultergelenkmuskulatur: Mm. latissimus dorsi, pectoralis major) am knöchernen Ansatz abgelöst. Die Clavicula wurde vom Sternum scharf abgelöst und die Leitungsbahnen wurden schulternah durchtrennt. Anschließend konnten die oberen Extremitäten entnommen werden.

Die Präparation wurde verfeinert und wie folgt fortgesetzt (Abb. 2.1):

Die Clavicula wurde mitsamt dem Bandapparat entfernt und der Oberarm wurde im mittleren Bereich durchtrennt.

Sämtliche Oberarmmuskeln einschließlich des Mm. deltoideus und coracobrachialis wurden entfernt (Mm. coracobrachialis, biceps brachii, brachialis und triceps brachii). Die lange Sehne des M. biceps brachii und der proximale Muskelanteil wurden erhalten.



**Abb. 2.1 Allgemeine Präparation der Rotatorenmanschette**

Rechte Schulter, Humerus wurde in der Mitte durchtrennt, Acromion wurde an der Spina scapulae durchtrennt (a und d, Sternzeichen) und nach ventral geklappt (b). Darstellung der muskulotendinösen Bestandteile der Rotatorenmanschette: Mm. supraspinatus (**SSP**), infraspinatus (**ISP**), subscapularis (**SSC**) und teres minor (**TM**) in der Ansicht von kranial (a und b), ventral (c) und dorsal (d).

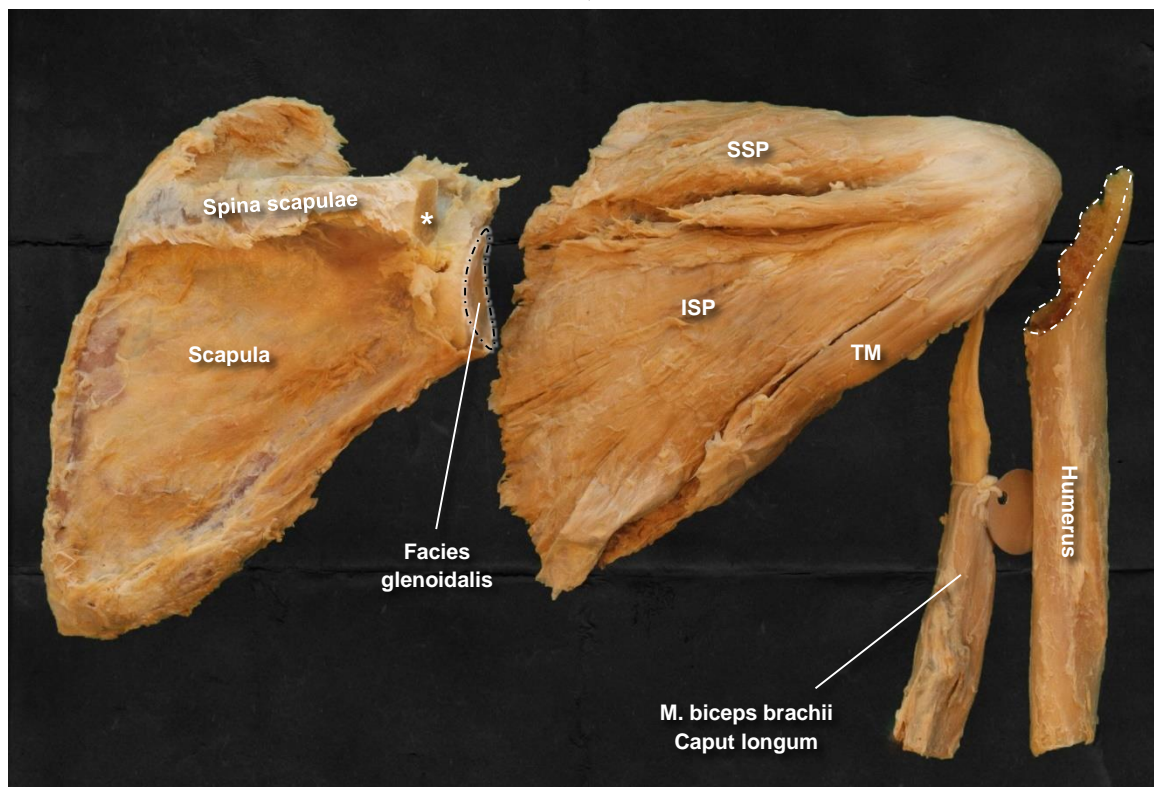
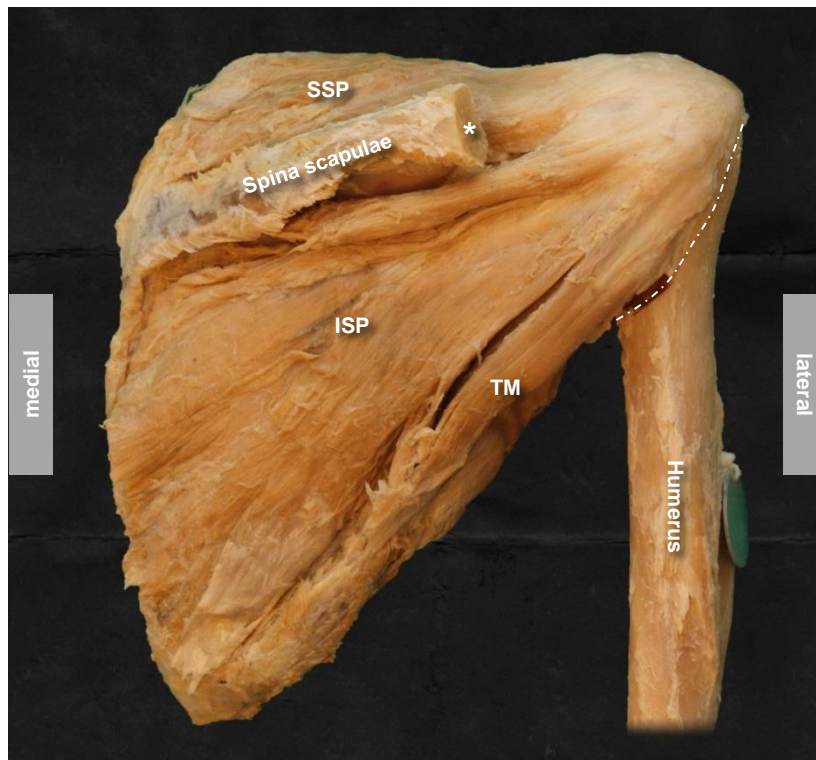
- Das Acromion wurde an seiner Basis an der Spina scapulae durchtrennt und zusammen mit dem Lig. coracoacromiale nach ventral abgeklappt. Bei einigen Präparaten erfolgte die vollständige Entfernung des Schulterdaches.
- Nach Befreiung der Präparate vom Bindegewebe und dem Rest der Schleimbeutel und der Leitungsbahnen erfolgte die Entfernung der Faszien der Rotatorenmanschettenmuskulatur.



### **2.2.3. Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen**

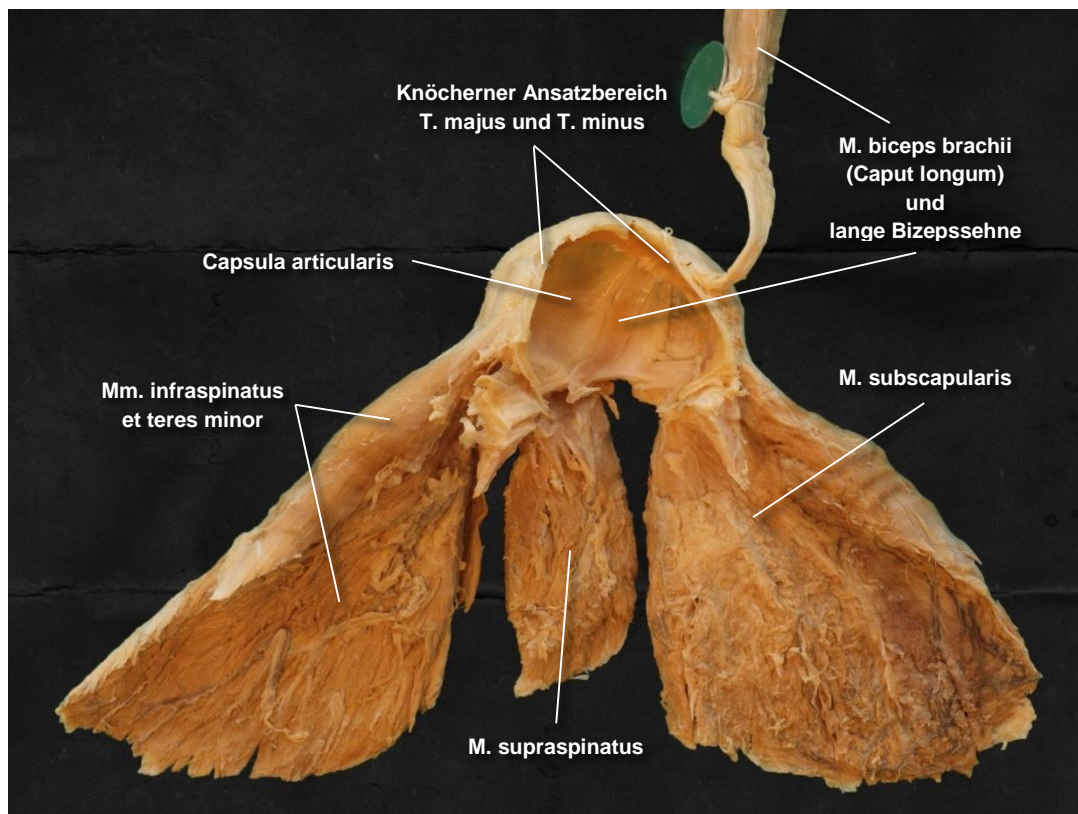
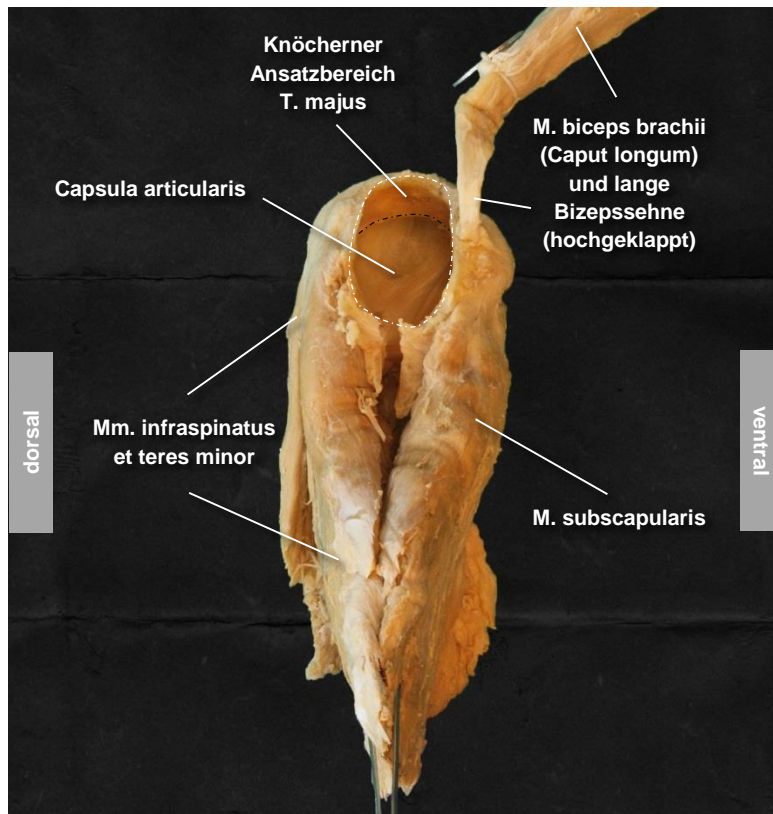
Zur Darstellung der Capsula articularis des Schultergelenks von der Gelenk-Seite unter Schonung des Muskel-Band-Apparats der Rotatorenmanschette wurde folgende Präparationsmethode entwickelt:

Zuerst wurde die Rotatorenmanschette wie unter 2.2.2 beschrieben präpariert. Dann wurde die Kompakta des Humerusschaftes distal (lateral) der Ansätze der Rotatorenmanschettenmuskeln mit einer Hartmetallfräse (z.B. Lindemannfräse) durchtrennt und der Humerusschaft vorsichtig entfernt (Abb. 2.2). Die Spongiosa des Gelenkkopfs wurde mit einem scharfen Löffel bis auf die Kompakta entfernt. Anschließend wurde die Kompakta mit einer Kugelfräse ausgedünnt und an einer Stelle vorsichtig durchbrochen. An dieser Stelle ließ sich nun die Kompakta mit Hilfe einer abgewinkelten Hohlmeißelzange bis zum kapsulotendinösen Ansatz stückweise herausbrechen und entfernen. Schließlich wurden die scharfen Kanten gebrochen. Optional wurde die Capsula articularis am Ursprung von der Scapula abgelöst. Dadurch erhöht sich die Beweglichkeit des Präparats. So konnte die Capsula articularis von verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden (Abb. 2.3). Diese Methode ermöglichte eine gelenkseitige Darstellung der Capsula articularis sowie des intraartikulären Abschnitts der langen Bizepssehne in vollem Umfang. In diesem Zustand ließen sich gelenkseitig vorhandene (artikuläre) Defekte identifizieren und beurteilen.



**Abb. 2.2 Schultergelenk - Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen I**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsal (posterior), Ausgangspräparation zur Darstellung der Rotatorenmanschettenmuskeln nach gängigen Methoden der makroskopischen Anatomie (oben), Acromion wurde an der Spina scapulae durchtrennt (Sternzeichen) und entfernt. Die Kompakta des Humerus wurde unmittelbar distal der Ansatzstelle der Muskulatur durchtrennt (weiße gestrichelte Linie) und vorsichtig herausgebrochen. Die Spongiosa des Gelenkkopfs wurde entfernt und die Kompakta bis zur proximalen Ansatzstelle der Muskulatur herausgebrochen (s. Abb. 2.3). Optional wurden die Muskeln von der Scapula abpräpariert, die Capsula articularis von ihrer Ursprungsstelle am Rand der Facies glenoidalis (schwarze gestrichelte Linie) abgelöst und die Scapula entfernt (unten).



**Abb. 2.3 Schultergelenk - Darstellung der gelenkseitigen Weichteilstrukturen II**

Rechte Schulter, Ansicht von lateral. Humerus wurde distal der Ansatzstelle der Muskulatur entfernt (weiße gestrichelte Linie, oben), die Spongiosa des Gelenkkopfs wurde herauspräpariert und die Kompakta bis zur proximalen Ansatzstelle der Muskulatur herausgebrochen (schwarze gestrichelte Linie, oben), Anschließend wurde die Scapula von der Muskulatur und von der Kapsel abgelöst und ebenfalls entfernt (s. auch Abb. 2.2). Zur besseren Darstellung wurde hier die Kapsel kaudal längst durchtrennt. Die LBS kann bis zu ihrem Ursprung am Glenoidrand verfolgt werden (unten).

#### **2.2.4. Darstellung der Kreuzungszone**

Diese Methode wurde zur makroskopischen Darstellung der bestehenden Beziehung zwischen der Supra- und Infraspinatussehne im distalen (lateralen) Sehnenabschnitt eingesetzt. Die Sehnen sind insbesondere im distalen bursaseitigen Abschnitt von Bindegewebe und fibrösen Strukturen (z.B. Lig. coracohumerale (20)) fest umschlossen. Aus diesem Grund lässt sich die vorhandene Beziehung durch die herkömmlichen Präparationsmethoden, wie bereits unter 2.2.2 beschrieben, nicht sichtbar machen. Daraus folgend wurden die oberflächlichen Anteile durch eine 5%ige NaOCl-Lösung schrittweise aufgelöst. Der distale Sehnenabschnitt wurde abwechselnd mit NaOCl-Lösung eingepinselt und anschließend mit klarem Wasser ausgespült und neutralisiert, um eine Auflösung der tieferliegenden Strukturen zu verhindern. Dieser Vorgang wurde solange fortgesetzt, bis die Sehnenfaser des jeweiligen Muskels makroskopisch sichtbar wurde. Nun ließ sich der Faserverlauf und die Sehnenkreuzung im distalen (lateralen) Abschnitt der Sehnen erkennen (näheres s. Ergebnisse, Seite 53).

#### **2.2.5. Herstellung der Mazerationspräparate**

Die Herstellung von Humerus-Skelett- bzw. Mazerationspräparaten zur Untersuchung der Ansatzflächen am T. majus (s. Ergebnisse, Seite 50) wurde wie folgt durchgeführt:

- Grobes Abfleischen als Vorbehandlung
- Mazeration in 50° C warmem Wasser, teilweise mit dem Zusatz von normalem Vollwaschmittel, zwischendurch Wasserwechsel
- Nach der vollständigen Mazeration der Knochen (ca. 2 Wochen) Entnahme, Nachsäuberung und Trocknung
- Anschließend Entfettung mit Isohexan in einer Entfettungsanlage
- Trocknung
- Bleichen der Präparate mit 3 %iger H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Lösung

#### **2.2.6. Herstellung der Injektionspräparate**

Zur Darstellung der Blutversorgung der Supraspinatussehne und Untersuchung der sogenannten hypovaskulären Zone im distalen Sehnenabschnitt wurde eine Tusche-Gelatine-Injektion durchgeführt. Als Material dafür wurden 6 nicht fixierte sowie 12 fixierte Präparate verwendet (s. Material, Seite 27). Aufgrund mangelhafter Ergebnisse wurden Präparate mit einer Minderperfusion aus der Wertung genommen.

Die Präparate wurden nach der Methode der Gefäßinjektion mit 5-10%iger Tusche-Gelatine-Lösung hergestellt und anschließend durchsichtig gemacht (s. Methoden, Seite 37).

Die nicht fixierten, gefrorenen Präparate wurden vorher langsam im Kühlraum (+4 °C) aufgetaut.

Zu Beginn des Injektionsverfahrens wurden die Präparate und die Injektionslösung in warmem Wasser auf Körpertemperatur erwärmt. Anschließend wurde die Injektion unter mäßigem Druck in die A. suprascapularis und die A. axillaris bzw. subclavia durchgeführt. Die injizierten Präparate wurden zum Schluss langsam wieder auf Raumtemperatur gebracht.

Zur Darstellung der hypovaskulären Zone wurde die Rotatorenmanschette, wie oben unter 2.2.2 und 2.2.3 beschrieben, präpariert. Danach wurden die nicht fixierten Präparate nachfixiert (s. Methoden, Seite 31).

Für das „Durchsichtigmachen“ der Präparate wurden die Präparate in 70%iger Alkohol-Lösung bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

### **2.2.7. Das „Durchsichtigmachen“ des Gewebes**

Diese Methode ermöglicht eine bessere Beurteilung und Lokalisierung der hypovaskulären Zone nach einer Injektion mit Tusche-Gelatine-Lösung (s. Methoden, Seite 36).

Modifiziert nach Spalteholz (55) durchlaufen die Präparate zunächst eine aufsteigende Alkoholreihe:

- 1. Tag 70% Ethanol
- 2. Tag 80% Ethanol
- 8. Tag 80% Ethanol
- 9. Tag 90% Ethanol
- 10. Tag 100% Ethanol
- 11. – 17. Tag 100% Ethanol

Anschließend beginnt die Prozedur des „Durchsichtigmachens“:

- 18. Tag Benzol
- 21. Tag Benzol
- 25. Tag Methylbenzoat
- 32. Tag Benzylbenzoat
- 39. Tag Benzylbenzoat
- 46. Tag Methylsalicylat (Wintergrünöl)-Benzol-Gemisch

Die Objekte müssen stets mit der jeweiligen Lösung bedeckt sein. Je nach Objekt kann die Verweildauer der Präparate in Benzol, Methylbenzoat und Benzylbenzoat variieren. Das Gewebe ist erst gesättigt, nachdem eine neue Transparenzstufe erreicht wurde. Daher darf vorher kein weiterer Schritt erfolgen. Bei dem letzten Schritt wurden die Präparate mit einem Gemisch aus Wintergrünöl und Benzol behandelt. Um ein optimales Ergebnis zu erreichen war es wichtig, den richtigen Brechungsindex für die Präparate herauszufinden. Die fertigen Objekte wurden in einer mit Benzylbenzoat gefüllten Glasschale im Durchlicht fotografiert.

### **2.2.8. Fotodokumentation und Bildbearbeitung**

Die Fotodokumentation erfolgte mittels einer 12.3 MP Digitalkamera Olympus E620 mit 3,2 x Standard-Zoomobjektiv sowie optional mit einem lichtstarken Makroobjektiv. Zur Beleuchtung wurden zwei Studioluchten eingesetzt (s. Material, Seite 30). Die Bearbeitung der Aufnahmen (Wechseln des Hintergrundes, Farb- und Kontrastkorrekturen, Färbungen, Markierungen, Zusammenfügen von REM-Bildern) wurde mit Adobe Photoshop Elements 9 durchgeführt.

### **2.2.9. Methoden der Histologie**

Zur Lokalisierung und Darstellung des Knorpelgewebes in der sogenannten avaskulären/hypovaskulären Zone des M. supraspinatus wurde eine histologische Untersuchung durchgeführt.

#### Entkalkung

Die Proben für die Untersuchungen der hypovaskulären Zone wurden aus dem distalen Sehnenabschnitt der Supraspinatussehne einschließlich des knöchernen Ansatzbereiches am T. majus entnommen. Die knochenhaltigen Gewebsanteile mussten vor dem Schneiden mit dem Mikrotom entkalkt werden. Zur Schonung des nicht knöchernen Gewebes wurde eine Behandlung der Proben mit 20%iger EDTA-Lösung bei 37°C vorgenommen. Die EDTA-Lösung wurde alle zwei bis drei Tage erneuert. Je nach Größe der Proben dauerte die Prozedur der Entkalkung vier bis sechs Wochen.

#### Fixierung und Einbettung

Die Gewebeproben wurden nach der Präparation 24 Stunden in der Paraformaldehyd-Lösung fixiert und anschließend für 1 Stunde gewässert. Vor Anfertigung der Schnitte

mussten die fixierten und gegebenenfalls entkalkten Proben zunächst eingebettet werden. Die Einbettung der Proben erfolgte im Rahmen der lichtmikroskopischen Untersuchung in Paraffin. Hierzu wurden die Proben in einer aufsteigenden Alkoholreihe (Ethanol 50%, 70%, 80%, 90%, 96%, 100%) dehydriert. Nach der Entwässerung wurden die Proben durch 3 Stufen Intermediärmedien Methylbenzoat geführt, um den Alkohol zu entfernen. Danach wurden die Proben in heißes, flüssiges Paraffin eingebracht. Zur optimalen Infiltration des Gewebes und Entfernung der Intermediärmedien wurden die Proben mit drei Portionen Paraffin durchtränkt. In der vierten Portion erfolgte die Abkühlung auf Raumtemperatur.

#### Anfertigung der Mikrotomschnitte

Die Anfertigung der Schnitte erfolgte mit einem Mikrotom. Die Schnittdicke betrug etwa 7 µm.

Verfahren:

- Schnittführung mit Mikrotom
- Streckung in einem Heißwasserbad (ca. 45°C)
- Aufziehen der Schnitte auf einen Objektträger
- Trocknung bei 40°C über Nacht in einem Wärmeschrank

#### H.E.-Färbung

##### **Allgemeines und Prinzip**

Die Hämalaun-Eosin-Färbung (HE) ist eins der wichtigsten histologischen Färbeverfahren, das bei nahezu jeder histologischen Untersuchung routinemäßig durchgeführt wird. Es liefert gute und schnelle Ergebnisse und kann zur Herstellung aussagekräftiger Übersichtspräparate verwendet werden. Als Farbstoff werden Hämatoxylin und Eosin benutzt, wobei Hämatoxylin als eine natürliche Farbvorstufe aus dem Blauholzbaum noch nicht färbt und daher in den positiv geladenen, basischen Farbstoff Hämatein überführt werden muss. Hämatein färbt alle Strukturen mit sauren Eigenschaften (basophile Strukturen) blau. Eosin ist dagegen ein synthetischer, saurer Farbstoff und färbt Strukturen mit basischen Eigenschaften (azidophile Strukturen) rot. Somit lassen sich beispielsweise Zellkerne und Knorpelmatrix blau färben, während Zytoplasma und Kollagenfaser rot erscheinen.

Bei den Proben handelte es sich um Formalin fixierte (s. Methoden, Seite 31), in Paraffin eingebettete (s. Methoden, Seite 38) Sehnenblöcke des M. supraspinatus.

## Verfahren

- Entparaffinierung:
  - I. Xylol 5 Min
  - II. Xylol 5 Min
  - III. Xylol 5 Min
- Rehydrierung (absteigende Alkoholreihe):
  - I. 100% Ethanol 2-5 Min
  - II. 100% Ethanol 2-5 Min
  - III. 96% Ethanol 2-5 Min
  - IV. 90% Ethanol 2-5 Min
  - V. 80% Ethanol 2-5 Min
  - VI. 70% Ethanol 2-5 Min
  - VII. 50% Ethanol 2-5 Min
- Spülung in H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub>
- Hämalun-Färbung nach Meyer 5-10 Min
- Spülung in H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub>
- Differenzieren in 0,02%tigem Salzsäure
- Spülung in H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub>
- Bläuen in fließendem Leitungswasser
- Eosin-Färbung 1-5 Min
- Kurze Spülung in H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub>
- Dehydrierung (aufsteigende Alkoholreihe):
  - I. 70% Ethanol kurz anspülen
  - II. 96% Ethanol 1 Min
  - III. 96% Ethanol 1 Min
  - IV. 100% Ethanol 2-5 Min
  - V. 100% Ethanol 2-5 Min
- Aufhellung der Schnitte / Entfernung des Ethanols
  - I. Xylol 5
  - II. Xylol 5
  - III. Xylol 5
- Eindeckeln mit xylol-löslichem Eindeckelmedium

## Lichtmikroskopie und Fotodokumentation

Die angefertigten histologischen Proben wurden unter dem Lichtmikroskop (AxioPhot, Zeiss) analysiert. Mittels eingebauter Digitalkamera erfolgte die Fotodokumentation (s. Material, Seite 30).

## Rasterelektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie ermöglicht eine hochauflösende Darstellung der Objektoberfläche. Daher eignet sich die Methode besonders für die Analyse der Faserarchitektur des Gewebes, die sich an der Oberfläche des Schnittes präsentiert. Sie ist damit hervorragend geeignet zur ultrastrukturellen Darstellung der



morphologischen Beziehung zwischen M. supraspinatus und M. infraspinatus im ansatznahen Endabschnitt.

### **Gewinnung der Sehnenblöcke**

Die Schnittführung erfolgte zunächst möglichst parallel zur makroskopischen Verlaufsachse des M. supraspinatus. Es wurden je nach Breite der Supraspinatussehne 4-6 Schnitte im Abstand von etwa 0,5 cm gesetzt. Die Entnahme der Geweblöcke erfolgte durch zwei in einem Abstand von etwa 1-1,3 cm gesetzte Querschnitte im ansatznahen Sehnenbereich.

Verarbeitung der Sehnenblöcke mit der Methode nach Ohtani (56):

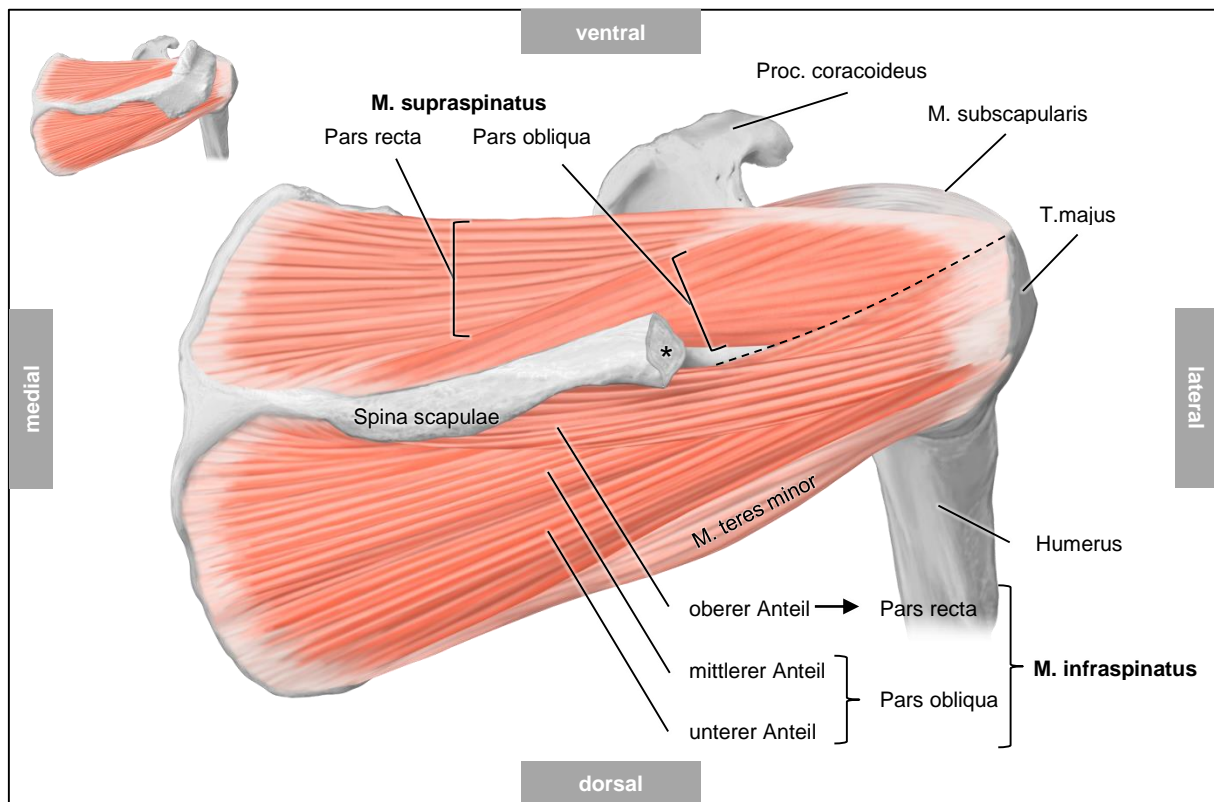
- Fixierung in 4% phosphatgepuffertem Paraformaldehyd, länger als einen Tag
- Lagerung in 10%ig wässriger NaOH-Lösung bei Raumtemperatur für 3-7 Tage
- Wässern mit H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub> für 1-2 Tage oder bis die Proben transparent werden
- Lagerung in 1%ig wässriger Taninsäure-Lösung für 2-3 Std.
- Wässern mit H<sub>2</sub>O<sub>dest</sub> für mehrere Stunden
- Nachfixierung in 1%ig wässriger Osmium-Lösung für 1-2 Std.
- Dehydrierung durch aufsteigende Alkoholreihe
- Kritische Punkt-Trocknung (Balzer CPD 030, Critical Point Dryer)

Die angefertigten Sehnenblöcke wurden auf einen Probenteller geklebt. Der Probenteller mit der Probe wurde in einen Kathodenzerstäuber (Sputter Coater, Ion Technologies Ltd) eingebracht und die Probe mit einer sogenannten „Sputter“-Beschichtung mit ca. 50 nm Gold unter Vakuum versehen.

Zur Untersuchung wurde ein Rasterelektronenmikroskop Phillips XL 20 eingesetzt. Von jeder Probe wurden je nach Probengröße 16-25 Teilaufnahmen durchgeführt (4-5 Zeilen x 4-5 Spalten) um die ganze Probe abzubilden. Die Aufnahmen wiesen eine Überlappung von ca. einem Viertel der Aufnahmegröße auf um eine nahtlose Zusammensetzung der Teilbilder zu ermöglichen. Die anschließende Bearbeitung und die Prozedur der Zusammensetzung erfolgten mit Adobe Photoshop Elements 9.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Topografie der Muskelverläufe



**Abb. 3.1 Eigene Darstellung der Anteile und des Verlaufs der Mm. supraspinatus und infraspinatus**  
Rechte Schulter, Ansicht von dorsokraniel. Acromion wurde an der Spina scapulae durchtrennt (\*) und entfernt (vgl. kleine Übersichtszeichnung). Die Zeichnung zeigt die Anteile und den Verlauf der Mm. supraspinatus und infraspinatus nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit. Die gestrichelte Linie markiert den oberen Rand des M. infraspinatus in seinem distalen Verlauf.

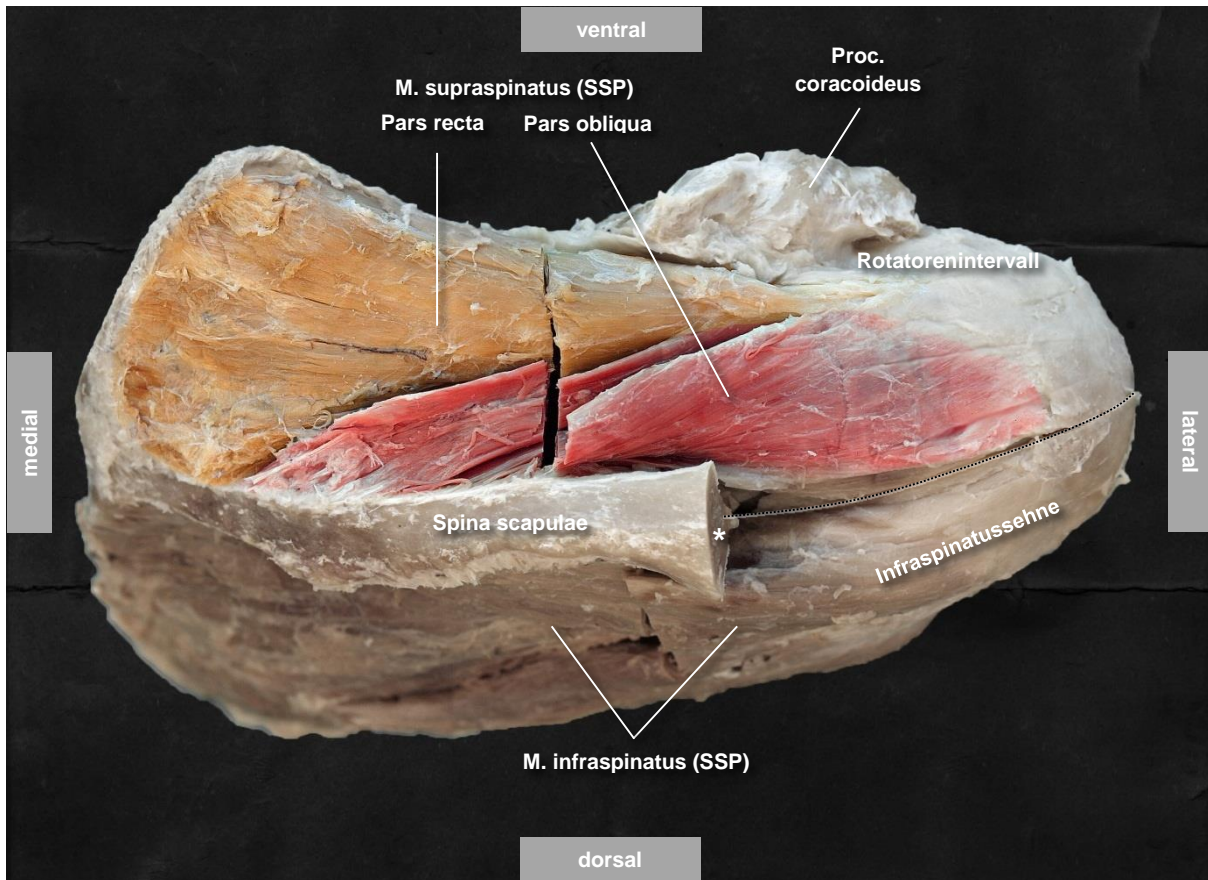
Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Topografie und dem Verlauf der Mm. supraspinatus und infraspinatus und deren Beziehung zueinander anhand des untersuchten Materials (s. Material, Seite 27). Die Abb. 3.1 zeigt die Muskelverläufe und ihre Anteile nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit in Übersicht.

Die Einzelheiten werden wie folgt dargestellt:

- Anteile und Verlauf des M. supraspinatus und des M. infraspinatus
- Insertion und Ansatz der Muskeln am T. majus
- Kreuzungszone und Beziehung der Muskeln zueinander

### 3.1.1. Anteile und Verlauf

#### M. supraspinatus (SSP)



**Abb. 3.2 Anteile und Verlauf des M.supraspinatus**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsokraniel, Acromion wurde an der Basis abgesetzt und entfernt (\*), der SSP wurde zur Darstellung seiner Anteile in der Mitte quer durchtrennt. Kapsel-Muskel-Apparat wurde entlang der Spina scapulae zwischen dem SSP und dem ISP durchtrennt (gestrichelte Linie).

M. supraspinatus besteht aus zwei Anteile: Pars recta und pars obliqua. Sie wurden zur besseren Darstellung proximal teilweise isoliert und farblich hervorgehoben.

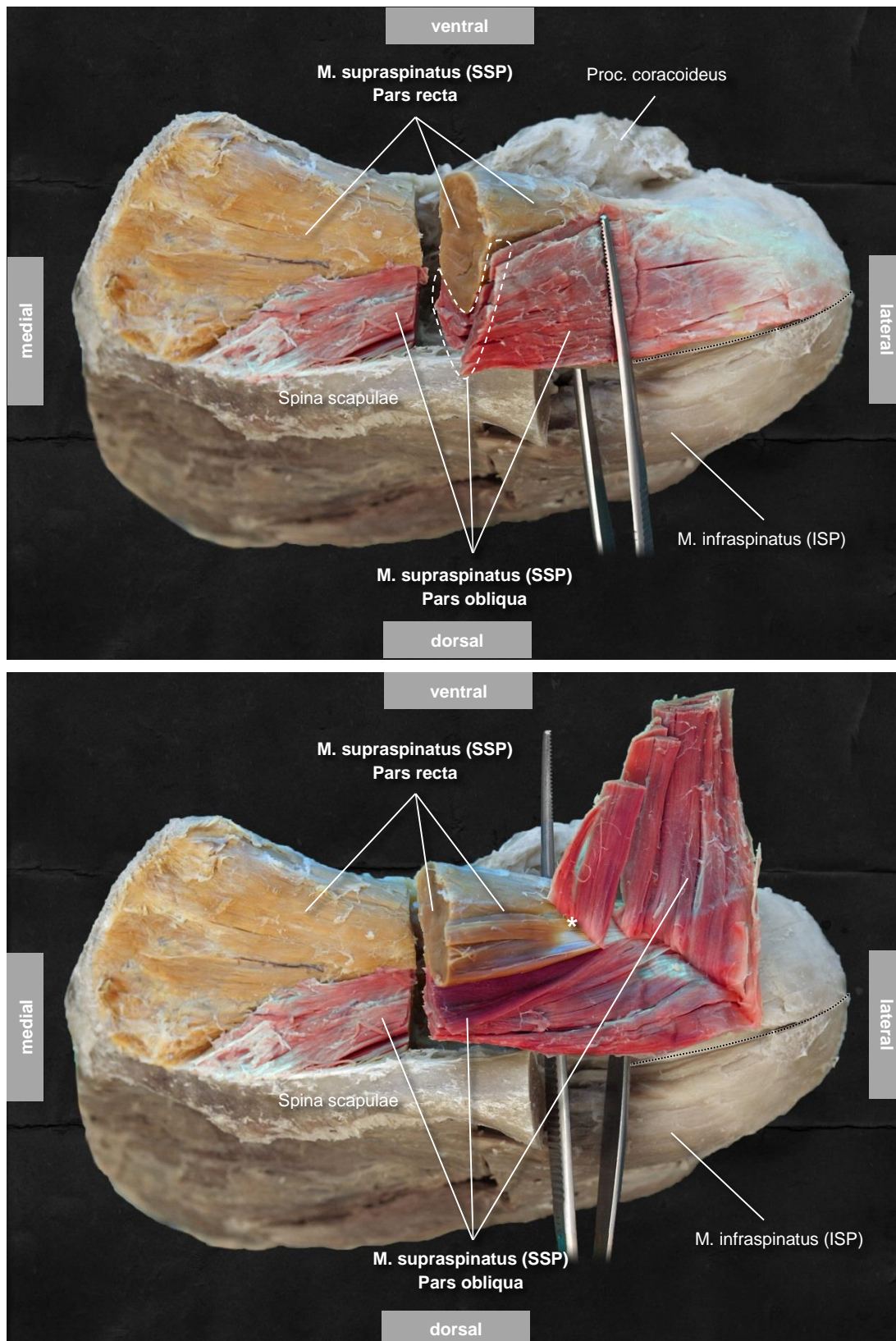
In der vorliegenden Untersuchung wurden zwei stets vorkommende Hauptanteile des M. supraspinatus beobachtet, die bisher nicht ausreichend beschrieben wurden. Wir bezeichneten sie als **Pars recta** und **Pars obliqua** (Abb. 3.2). Eine Einteilung des M. supraspinatus in Pars recta und Pars obliqua ist nicht Bestandteil der Terminologia Anatomica und wurde aufgrund morphologischer Gegebenheiten zur besseren Beschreibung von uns ausgewählt. Die beiden Anteile lassen sich proximal (medial) teilweise voneinander isolieren. Distal (lateral) fusionieren sie zu einer Sehnenplatte, die ventral (anterior) hauptsächlich aus der Pars recta und dorsal (posterior) aus der Pars obliqua besteht (Abb. 3.2, Abb. 3.3). Nach ventral besteht eine enge Beziehung zum Rotatorenintervall. Von dorsal überkreuzt die Infraspinatussehne die Supraspinatussehne und ist fest mit ihr verwachsen. Im Folgenden werden die Anteile des M. supraspinatus detailliert erläutert:

### **Pars recta**

Die Pars recta entspringt in der Fossa supraspinata und hat einen nahezu geraden Verlauf. Sie ist der wesentliche Bestandteil der ventralen (anterioren) Hälfte des M. supraspinatus. Der kegelförmige muskuläre Anteil zeigt sich im Querschnitt als eine querovale Struktur. Die Muskelfasern verlaufen distal (lateral) immer dichter zusammen (Abb. 3.2, Abb. 3.3). Daraus entsteht der tendinöse Anteil der Pars recta, der lang, dicht gepackt und schmal konfiguriert ist. In ihrem Verlauf zieht die Pars recta zum anterioren Bereich der oberen Facette des T. majus unmittelbar dorsal (posterior) des Sulcus intertubercularis, wo sie ihren Ansatz hat (näheres s. Insertion und Ansatz, Seite 50). Proximal (medial) der Ansatzstelle zieht ein Teil der Fasern zum Rotatorenintervall, mit dem sie das fibröse Dach des Sulcus intertubercularis bildet. Demzufolge hat dieser Anteil eine feste Verbindung zum Rotatorenintervall sowie möglicherweise eine Ansatzstelle am T. minus (näheres s. Kreuzungszone und Verbindungen, Seite 53).

### **Pars obliqua**

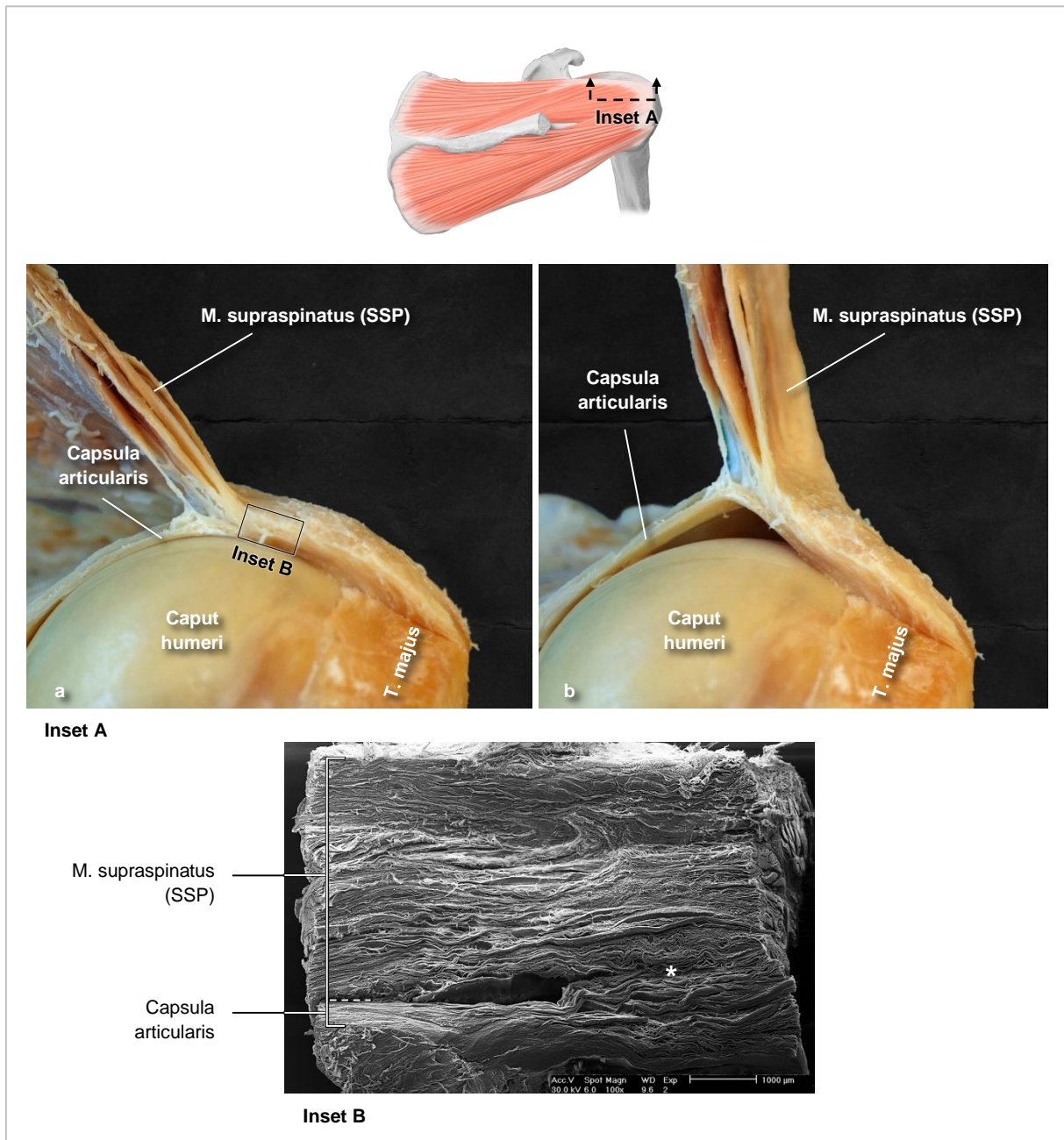
Der zweite Anteil des M. supraspinatus, die Pars obliqua entspringt hauptsächlich an der kranialen Fläche der Spina scapulae und zum kleineren Teil an der Fläche der Fossa supraspinata, die der Spina benachbart ist. Im Querschnitt lässt sich die Pars obliqua als ein Anteil des M. supraspinatus erkennen, der die querovale Pars recta von hinten „U-förmig“ umgibt und begleitet (Abb. 3.2, Abb. 3.3). Die Basis des „U“ zeigt zur Spina scapulae und enthält Muskelfasern, die hauptsächlich gerade in Längsrichtung parallel zur Pars recta verlaufen. Die beiden Schenkel enthalten schräg nach anterolateral verlaufende Muskelfasern, die sich jeweils oben und unten der Pars recta anlegen, distal (lateral) mit ihr verbinden und sie verstärken. Die Pars obliqua verteilt sich letztendlich an der gesamten Breite der oberen Facette des T. majus und setzt dort an. Des Weiteren wird die Pars obliqua in der Regel in ihrem distalen (lateralen) Verlauf nah an ihrer Ansatzstelle von der Sehne des M. infraspinatus überkreuzt, die schräg von posteromedial-inferior nach anterolateral-superior verläuft. In dieser Kreuzungszone ist die Supraspinatussehne fest mit der Infraspinatussehne verwachsen und inseriert gemeinsam mit ihr an der oberen Facette des T. majus. (näheres s. Insertion und Ansatz, Seite 50). Im Gegensatz zur Pars recta zeigt sich der tendinöse Anteil der Pars obliqua im Vergleich kürzer, weniger dicht und breiter aufgebaut.



**Abb. 3.3** Anteile und Verlauf des M. supraspinatus

Rechte Schulter, Ansicht von dorsokranial, der SSP wurde zur Darstellung seiner Anteile in der Mitte quer durchtrennt. Acromion wurde entfernt. Kapsel-Muskel-Apparat wurde entlang der Spina scapulae zwischen dem SSP und dem ISP durchtrennt (schwarze gestrichelte Linie). Die Pars recta und obliqua wurden zur besseren Darstellung farblich hervorgehoben. **Oben**) Die U-förmige gestrichelte Linie markiert die dunkel rot gefärbte Pars obliqua im Querschnitt, ventral davon ist die im Querschnitt ovale gelbbraun gefärbte Pars recta zu erkennen. **Unten**) Der oberflächliche Anteil der Pars obliqua wurde nach ventral umgeklappt. Der ventrale Anteil der Pars obliqua verstärkt die kräftige Sehne der Pars recta (\*).

## Beziehung der Supraspinatussehne zur Capsula articularis



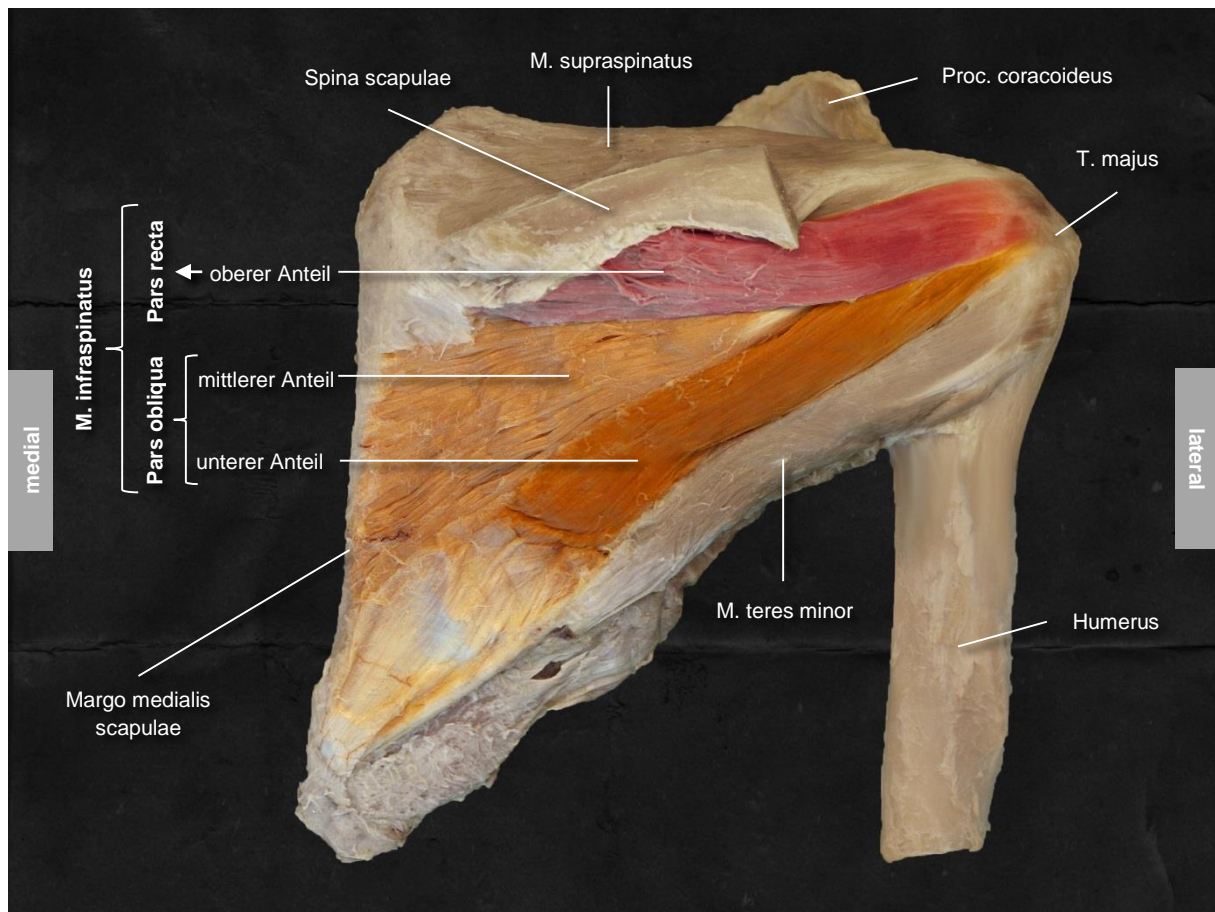
**Abb. 3.4 Verbindung zwischen Supraspinatussehne und Capsula articularis**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsal. Acromion wurde entfernt. **Inset A**) Die Supraspinatussehne (SSP) und die Capsula articularis wurden zur Darstellung bestehender Verbindung in der Mitte längst durchtrennt und die dorsale Hälfte wurde vollständig entfernt. Der SSP wurde angehoben (a). Im distalen Bereich ist die Supraspinatussehne fest mit der Capsula articularis verwachsen und lässt sich nicht von ihr isolieren. Wird die Supraspinatussehne nun, wie auf dem rechten Bild unter Zug gesetzt (b), macht sich ihre feste Verbindung zur Capsula articularis noch deutlicher bemerkbar. **Inset B**) Rasterelektronenmikroskopische Darstellung der Beziehung zwischen der SSP und der Capsula articularis im distalen Sehnenabschnitt (Sternzeichen). Die Abbildung wurde aus 20 zusammengeführten Einzelaufnahmen (4 Spalten x 5 Zeilen) hergestellt.

Die zur Gelenkseite gerichteten tiefer verlaufenden Sehnenfasern der Pars obliqua und der Pars recta bilden zusammen die tiefere Hälfte der Supraspinatussehne, die sich distal (lateral) zum großen Teil in jedem der von uns untersuchten Präparate unzertrennlich mit dem distalen (lateralen) Drittel der Capsula articularis verbindet

(Abb. 3.4, Inset A). Zusätzlich wurde die Supraspinatussehne an der Verbindungsstelle rasterelektronenmikroskopisch (Abb. 3.4, Inset B) dargestellt. Dementsprechend inserieren die tiefer liegenden Sehnenfasern über diese Verbindung gemeinsam mit der Kapsel am proximalen (medialen) Anteil der oberen Facette des T. majus. Diese Tatsache erklärt den Umstand, dass bei der Präparation des M. supraspinatus eine vollständige Isolierung des Muskels von der Capsula articularis bis zu seiner Ansatzstelle am T. majus ohne eine scharfe Durchtrennung der bestehenden Verbindung in der Regel nicht möglich ist. Aus diesem Grund sind bei einem gelenkseitigen Partialdefekt tiefere Anteile der Supraspinatussehne und die Capsula articularis meist gemeinsam betroffen.

## M. infraspinatus (ISP)



**Abb. 3.5** Anteile und Verlauf des **M. infraspinatus**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsal, Acromion wurde entfernt. Die Anteile des M. infraspinatus wurden zur besseren Darstellung farblich hervorgehoben.

Die **Pars recta** verläuft oberflächlich und nahezu horizontal und besteht aus dem **oberen** Muskelanteil. Der kräftige **mittlere** Anteil bildet die Hauptmasse des Muskels. Der individuell unterschiedlich stark ausgebildete **untere** Anteil vereint sich lateral mit dem mittleren Anteil zur **Pars obliqua**, die einen diagonal aufsteigenden Verlauf aufweist. Die Pars obliqua zieht unter der Pars recta hinweg zum T. majus.

Der M. infraspinatus besteht primär aus drei Anteilen, einem **oberen**, einem **mittleren** und einem **unteren** Muskelanteil (Abb. 3.5).

### **Pars recta**<sup>1</sup>

Der **obere** Teil des M. infraspinatus entspringt an der kaudalen Fläche der Spina scapulae sowie an der Fläche der Fossa infraspinata, die der Spina benachbart ist. Er verläuft oberflächlich und in dorsaler Ansicht nahezu horizontal nach lateral und bildet die **Pars recta** des M. infraspinatus. Er verbindet sich distal (lateral) mit dem darunter verlaufenden mittleren Teil und inseriert an der posterior-superioren Stelle der

<sup>1</sup> Eine Einteilung des M. infraspinatus in Pars recta und Pars obliqua ist nicht Bestandteil der Terminologia Anatomica und wurde aufgrund morphologischer Gegebenheiten zur besseren Beschreibung von uns ausgewählt.



mittleren Facette des T. majus (näheres s. Insertion der Mm. supraspinatus (SSP) und infraspinatus, Seite 52).

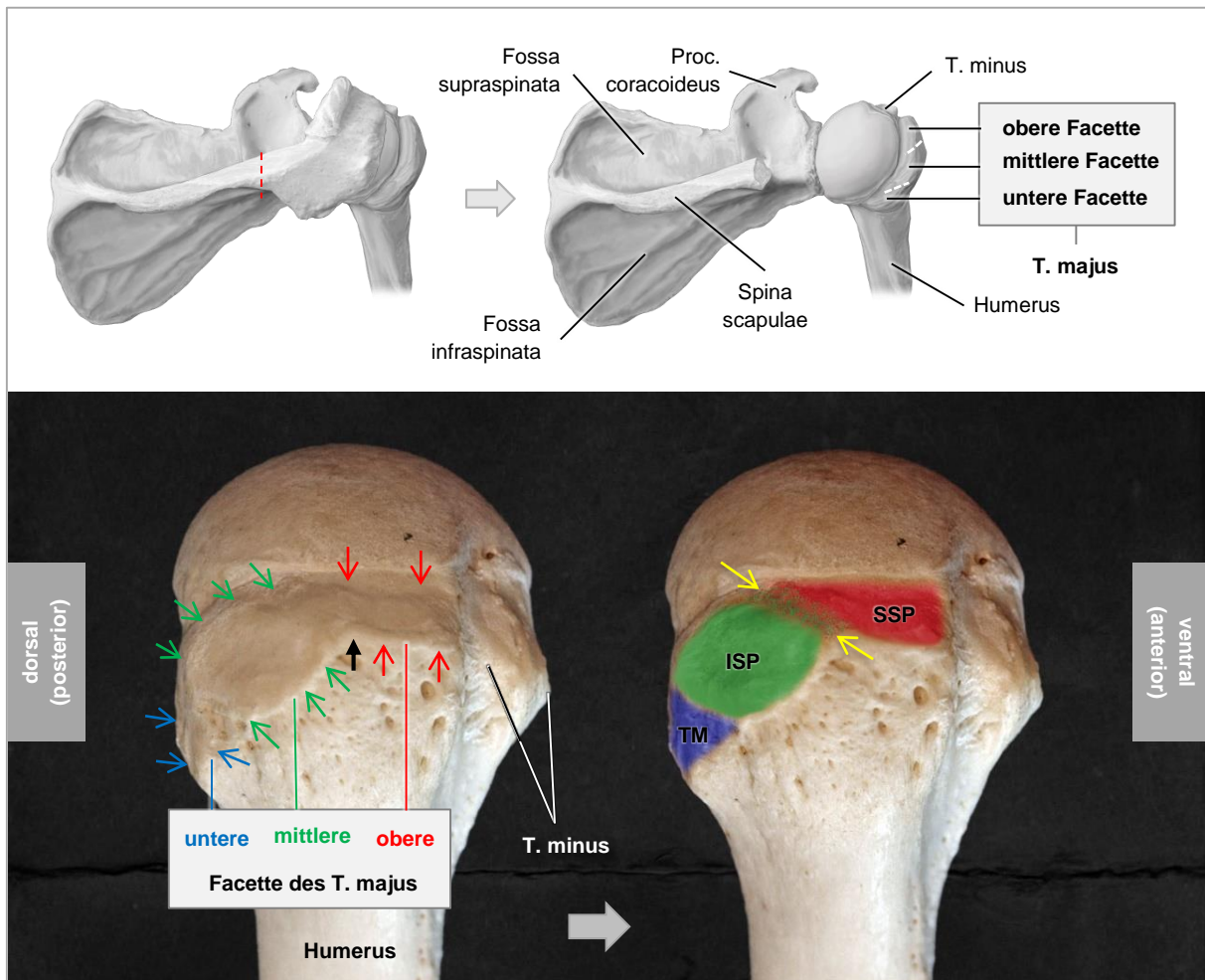
### **Pars obliqua<sup>1</sup>**

Der **mittlere** Muskelanteil macht den Hauptteil des Muskels aus. Er entspringt in der Fossa infraspinata an der dorsalen Seite des Schulterblattes. Der **untere** Teil des M. infraspinatus ist individuell unterschiedlich stark und teilweise spärlich aufgebaut. Er besteht aus Faserzügen, die hauptsächlich an der Innenseite der Muskelfaszie des M. infraspinatus entspringen. Letztendlich vereint er sich in seinem Verlauf mit dem darunter liegenden mittleren Anteil und geht distal (lateral) in ihn über. In dorsaler Ansicht ziehen beide Anteile diagonal ascendierend und bilden gemeinsam die **Pars obliqua** des M. infraspinatus. Die Muskelfasern verlaufen nach distal immer dichter zusammen und verleihen der Pars obliqua eine dreieckige Form. Die Basis des Dreiecks steht parallel zur Margo medialis der Scapula. Parallel zur Spina scapulae verläuft der obere Schenkel des Dreiecks nahezu horizontal und versteckt sich hinter dem oberen Teil des Muskels, während der untere Dreiecksschenkel parallel zum M. teres minor verläuft. Die Pars obliqua zeigt lateral einen ganz besonderen Verlauf. Sie zieht unter der Pars recta hinweg und überkreuzt mit ihrer kranialen (superioren) Hälfte die Supraspinatussehne von posterolateral und ist dort fest mit ihr verwachsen (näheres s. Insertion der Mm. supraspinatus (SSP) und infraspinatus, Seite 52). Schließlich verteilt sich die Pars obliqua über die gesamte Breite der mittleren Facette des T. majus und setzt dort an.

---

<sup>1</sup> Eine Einteilung des M. infraspinatus in Pars recta und Pars obliqua ist nicht Bestandteil der Terminologia Anatomica und wurde aufgrund morphologischer Gegebenheiten zur besseren Beschreibung von uns ausgewählt.

### 3.1.2. Insertion und Ansatz



**Abb. 3.6** Drei „Facetten“ und die Insertion der Rotatorenmanschettenmuskeln am T. majus

**Oben)** Rechte Schulter, Ansicht von dorsokraniel, knöcherner Aufbau. Acromion wurde an der Basis (rote gestrichelte Linie, links) durchtrennt und entfernt (rechts). Darstellung der Ursprungs-/Ansatzflächen der Mm. supraspinatus (Fossa supraspinata/obere Facette des T. majus) und infraspinatus (Fossa infraspinata/obere und mittlere Facette des T. majus).

**Unten)** Rechter Humerus, Ansicht von laterokraniel, Darstellung der drei makroskopisch sichtbaren Facetten (obere, mittlere und untere) am T. majus (links) und ihre räumliche Anordnung, die sich möglicherweise durch den Sehnenzug der Rotatorenmanschettenmuskeln (Mm. supraspinatus (SSP), infraspinatus (ISP) und teres minor (TM)) an der Insertionsfläche entwickeln. Die Insertionsflächen der Sehnen korrelieren eng mit den korrespondierenden Facetten am T. majus und weisen vermutlich die gleiche Ausdehnung auf. Die gelben Pfeile markieren den Verlauf der Grenzlinie zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus, wo sich die Sehneninsertionen (SSP und ISP) analog zur Überlappung der Supra- sowie Infraspinatussehne in diesem Bereich überlappen (= gemeinsame Insertionszone des SSP und ISP). Der schwarze Pfeil markiert die laterale Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette, die sich meist als ein knöcherner Vorsprung tasten lässt.

#### Insertionsflächen am T. majus

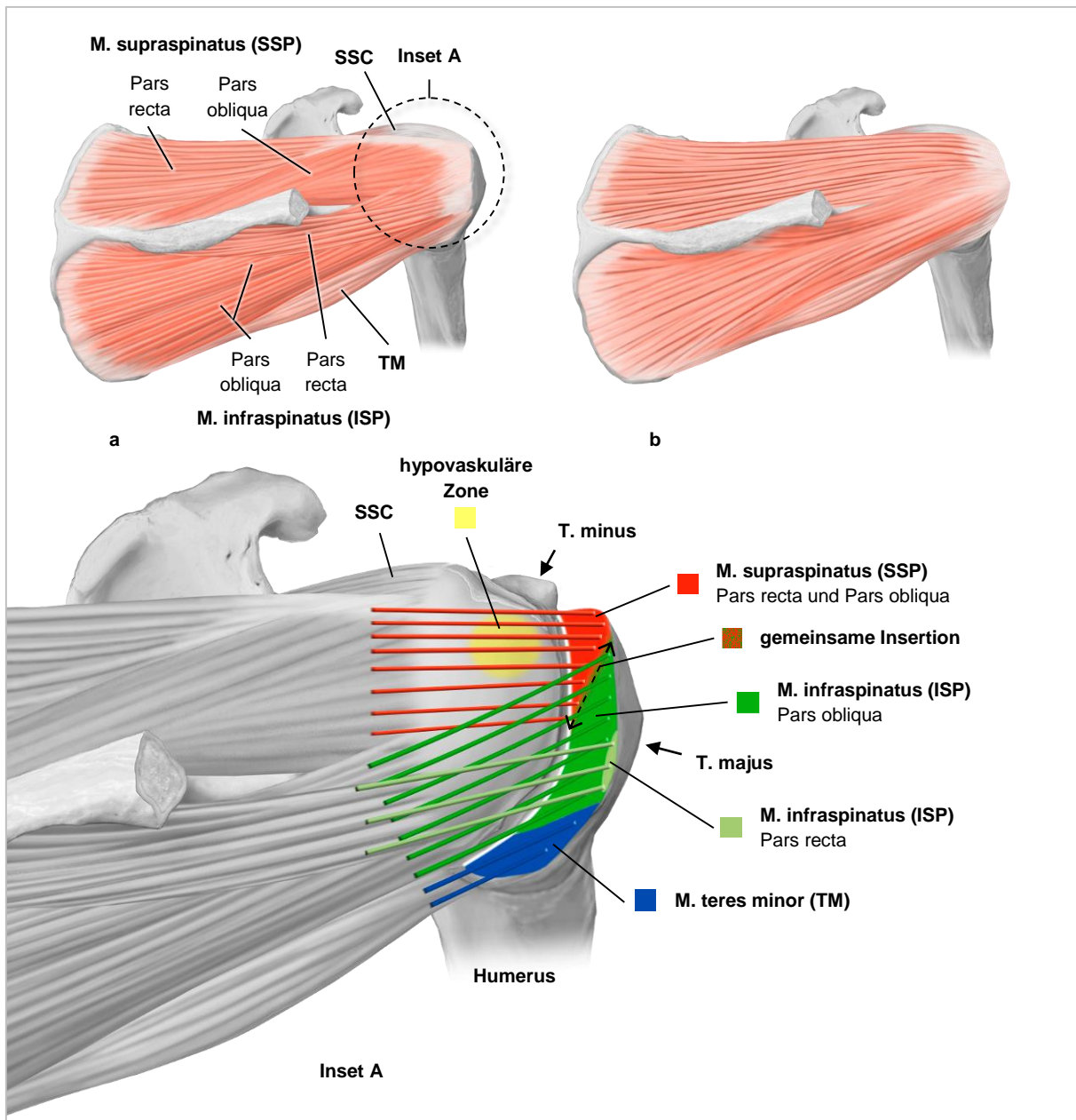
Das T. majus besteht auf seiner Oberfläche aus drei Insertionsflächen, die sich möglicherweise nach dem Sehnenzug des inserierenden Muskels richten. Sie korrelieren eng mit den drei sichtbaren Facetten am T. majus und weisen vermutlich stets die gleiche Ausdehnung auf. Dadurch entwickelt sich eine räumliche Anordnung der Insertionsflächen, die sich als drei unterschiedlich ausgerichtete Facetten am T. majus makroskopisch widerspiegelt (Abb. 3.6). An der oberen Facette des T. majus

setzt die Supraspinatussehne an. Die Infraspinatussehne besetzt die mittlere Facette und die Sehne des M. teres minor inseriert an der unteren Facette des T. majus. Die Grenzlinien zwischen den Facetten verlaufen von posteromedial nach anterolateral (Abb. 3.6, gelbe Pfeile). Am T. majus lässt sich lateral meist ein knöcherner Vorsprung tasten, der die Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette markiert (Abb. 3.6, schwarzer Pfeil).

### Muskuläre Ansätze

Die Insertion des M. supraspinatus weist Besonderheiten auf, die bisher nicht ausreichend beschrieben worden sind. Die obere Facette des T. majus ist die Ansatzstelle des M. supraspinatus (Abb. 3.6 und Abb. 3.7). Die Pars recta des M. supraspinatus inseriert vorwiegend an der anterioren Hälfte, während sich die Pars obliqua über die gesamte Länge der oberen Facette verteilt und dort ansetzt. Dadurch nimmt die obere Facette des T. majus eine nahezu dreieckige Form an. Folglich ist die mediolaterale Breite der Ansatzfläche in der anterioren Hälfte deutlich größer als in der posterioren Hälfte. Die Ansatzfläche der **Supraspinatussehne** (= obere Facette des T. majus) zeigt sich wesentlich kleiner als bisher angenommen. Das lässt sich vor allem dadurch erkennen, dass die Grenzlinie zwischen der oberen und mittleren Facette nicht wie bisher angenommen von medial nach lateral (entlang der Spina scapulae), sondern eindeutig von posteromedial nach anterolateral verläuft (Abb. 3.6, gelbe Pfeile, näheres s. Diskussion, Seite 74). Dadurch besetzt die **Infraspinatussehne** eine größere Fläche am T. majus und die mittlere Facette gestaltet sich rhombenförmig. Ihre Pars recta setzt nach einem annähernd horizontalen Verlauf an einer kleinen Stelle der posterior-superioren Fläche des T. majus an. Dagegen dehnt sich die kräftig ausgebildete Pars obliqua über die gesamte Fläche der mittleren Facette aus. Die Sehne des **M. teres minor** inseriert an der unteren Facette des T. majus.

Wie bereits oben erwähnt kreuzt die Infraspinatussehne über die posterolaterale Hälfte der Supraspinatussehne und ist fest mit ihr verwachsen (näheres s. Kreuzungszone und Verbindungen, Seite 53). Die Folge der Überlappung und Verbindung der Sehnenfaser ist die Überlappung der Insertionsflächen und somit eine gemeinsame streifenförmige Ansatzfläche, die sich an der Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus erkennen lässt. (Abb. 3.6, gelbe Pfeile und Abb. 3.7 und Inset-A).



**Abb. 3.7 Insertion der Mm. supraspinatus (SSP) und infraspinatus (ISP)**

Rechte Schulter, Ansicht von dorsolateral, Acromion wurde an der Basis durchtrennt und entfernt.

Verlauf des SSP und ISP nach den Ergebnissen dieser Untersuchung (a) im Vergleich zur allgemein anerkannten Anatomie: SSP und ISP verlaufen bis zum knöchernen Ansatz parallel zueinander (b).

**Inset A)** Schematische Darstellung der Insertion der Supraspinatus- und Infraspinatussehne am T. majus. Die Rotatorenmanschettenmuskeln wurden lateral durch farbliche Linien ersetzt, die den Verlauf von Sehnenfasern verdeutlichen. Der SSP (Pars recta und Pars obliqua) inseriert an der oberen Facette des T. majus (Rot). Die Pars recta des ISP verläuft nahezu horizontal und setzt an der posterior-superiore Fläche des T. majus an (Hellgrün). Die Pars obliqua zieht in einem ascendierenden Verlauf unter der Pars recta und inseriert an der mittleren Facette des T. majus (Grün). Die Insertionsfläche des SSP (obere Facette) stellt sich wesentlich kleiner dar als bisher angenommen. Im Gegensatz dazu wird eine größere Fläche vom ISP besetzt (mittlere Facette). Die Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus ist deutlich nach anterolateral gerichtet (gestrichelter Doppelpfeil). Außerdem überkreuzt der ISP den SSP von posterolateral und ist fest mit ihm verwachsen. Daraus ergibt sich eine gemeinsame Insertionsstelle an der oben beschriebenen Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus (abwechselnd Rot/Grün). Im anterolateralen Bereich des SSP befindet sich die sogenannte hypovaskuläre Zone (Gelb, näheres s. unten). Ansatz der Gelenkkapsel wurde teilweise als eine weiße Linie angedeutet.

### 3.1.3. Kreuzungszone und Verbindungen

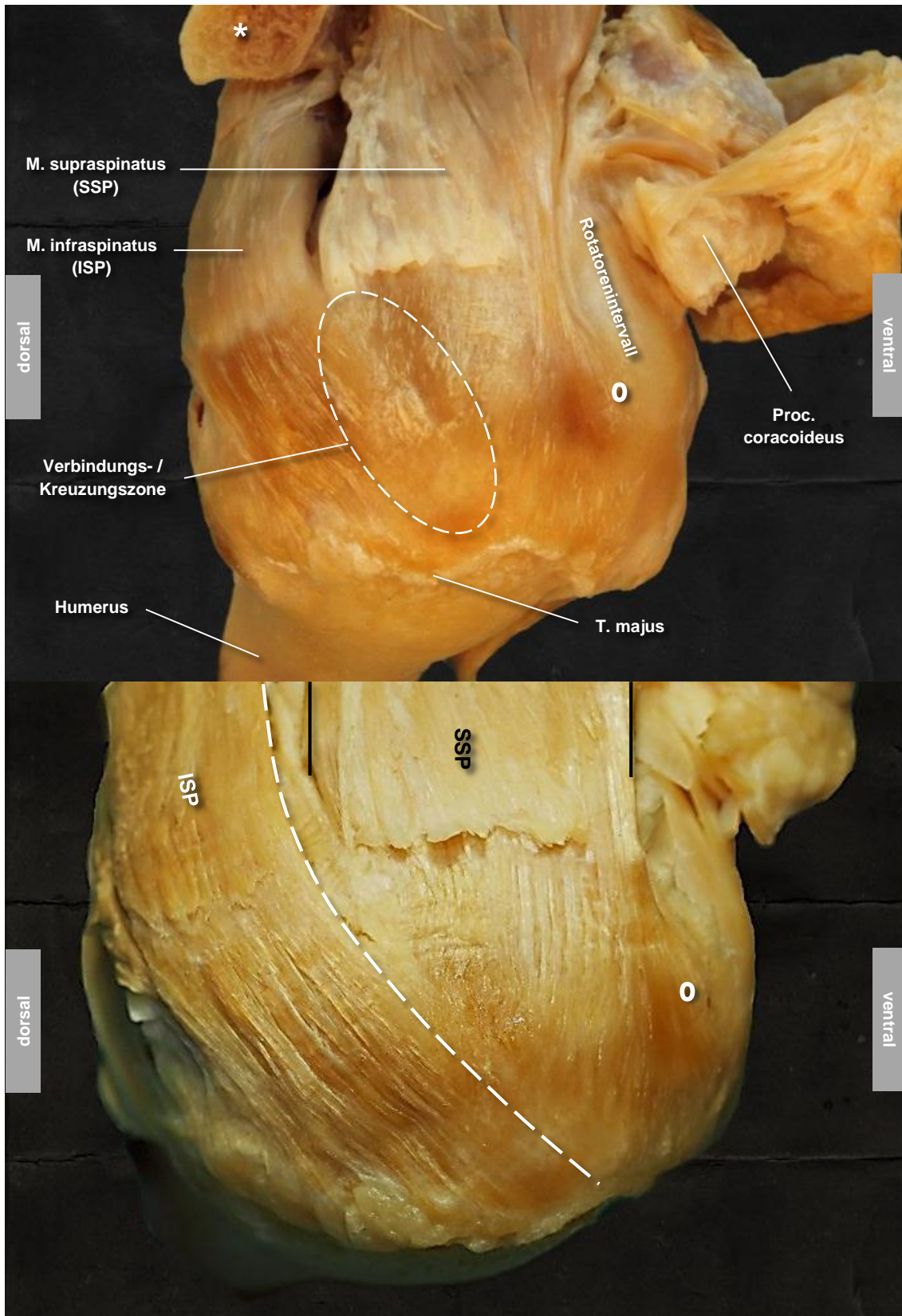
#### Kreuzungszone

Die anatomische Beziehung der Mm. supra- und infraspinatus zueinander wurde in dieser Arbeit näher untersucht. Bei der Präparation der beiden Muskeln stellt sich heraus, dass die Isolierung der Ansatzsehnen bis zum knöchernen Ansatz, ohne scharfe Durchtrennung der Sehnen voneinander, in der Regel nicht möglich ist. Insbesondere handelt es sich um die lateralen 1-2 cm der Sehnen unmittelbar vor dem Ansatz am T. majus. Durch die üblichen Präparationsmethoden der makroskopischen Anatomie lässt sich diese Beziehung nicht ausreichend sichtbar machen. Die Kreuzung und die Vereinigung der beiden Sehnen sind praktisch kaum zu erkennen. Um diese anatomische Beziehung besser darstellen zu können, wurden die oberflächlichen Schichten der Rotatorenmanschette im distalen (lateralen) Abschnitt mit NaOCl-Lösung bearbeitet (Pinseltechnik). Dadurch löst sich das Bindegewebe und der Rest der Schleimbeutelanteile heraus und die tendinöse Faserarchitektur zeigt sich wesentlich deutlicher (näheres s. Methoden, Seite 36). Die Sehne des M. supraspinatus wird posterolateral von der Infraspinatussehne überkreuzt und ist fest mit ihr verbunden. Die Abb. 3.8 zeigt den Faserverlauf der Sehnen im Bereich der Kreuzungszone.

Bei einem der 30 untersuchten Schulterpräparate in dieser Arbeit fehlte die feste Verbindung zwischen Supra- und Infraspinatussehne. Daher ist diese Variante gut geeignet um den besonderen Verlauf des M. infraspinatus sichtbar zu machen. So lässt sich leicht erkennen, wie die kraniale Hälfte der Infraspinatussehne über die dorsale (posteriore) Hälfte der Supraspinatussehne nach anterolateral verläuft, zur anterior-superioren Fläche der mittleren Facette des T. Majus zieht und dort ansetzt (Abb. 3.9).

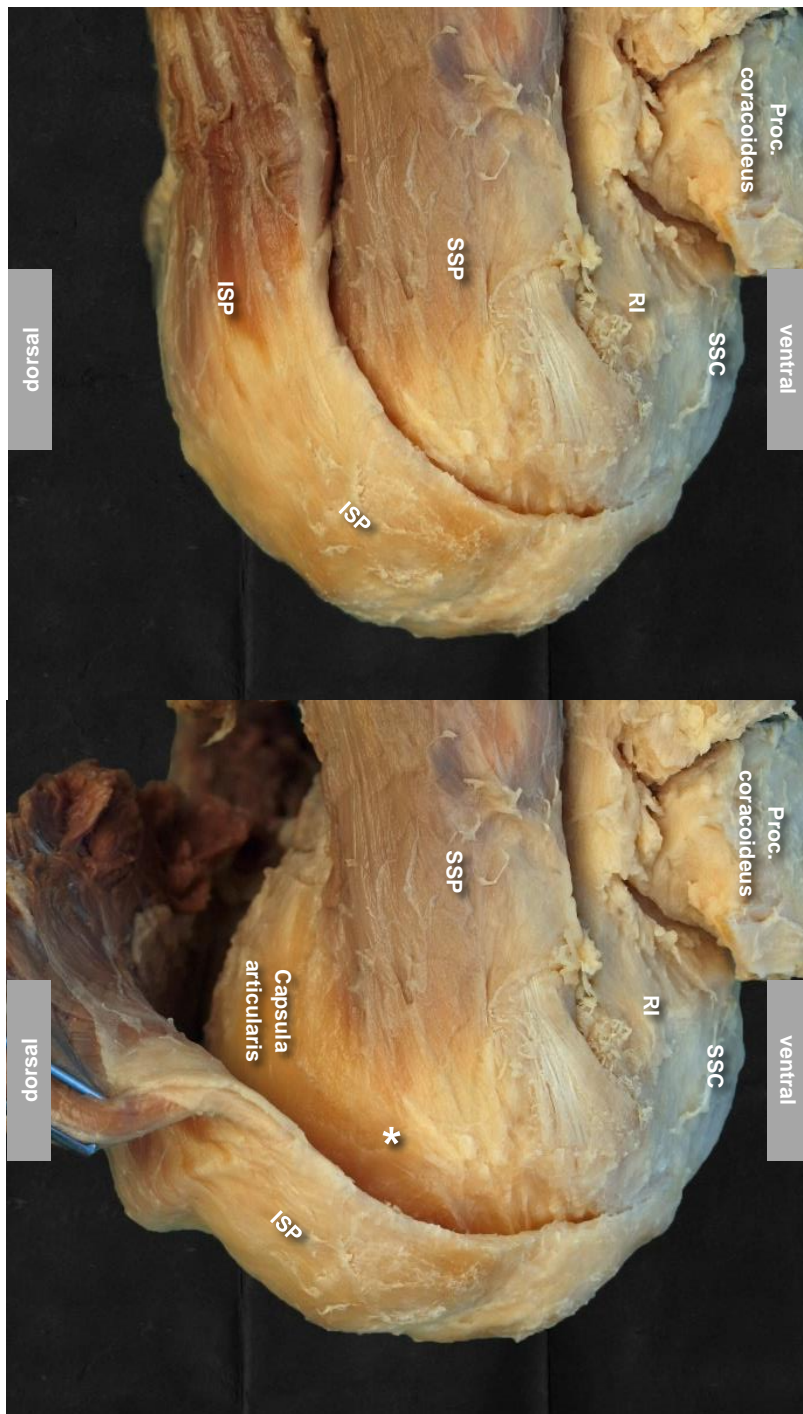
#### Verbindung zum Rotatorenintervall

Des Weiteren erkennt man im anterolateralen Bereich der Supraspinatussehne einen fächerförmigen nach ventral (anterior) verlaufenden Anteil der Sehnenfasern, der sich dem Rotatorenintervall anschließt (Abb. 3.8, Kreis). Aus diesem Grund ist sogar eine kleine Ansatzstelle am T. minus denkbar.



**Abb. 3.8 Kreuzung von M. supraspinatus und M. infraspinatus**

Rechte Schulter, Ansicht von laterokraniel (oben) sowie kranial (unten), Acromion wurde an der Spina durchtrennt (oben, Sternzeichen) und nach ventral umgeklappt. Der distale (laterale) Abschnitt der Muskeln wurde zur Darstellung des Faserverlaufs mit NaOCl-Lösung bearbeitet. **Oben** Der gestrichelte Umriss markiert die Kreuzungszone. Der M. infraspinatus (ISP) überkreuzt den M. supraspinatus (SSP) von posterolateral kurz vor dem Ansatz am T. majus. Hier sind die beiden Muskeln fest miteinander vernetzt. **Unten** Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des ISP. Die schwarzen Linien deuten die Verlaufsrichtung des SSP an. Ein Teil der Sehnenfaser im ventralen Bereich der Supraspinatussehne zieht zum Rotatorenintervall (Kreis)



**Abb. 3.9 Kreuzung von M. supraspinatus und M. infraspinatus – Variante ohne feste Verbindung**

Rechte Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde entfernt.

Die Bilder zeigen eine seltene Variante, in der die beiden kreuzenden Muskeln nicht fest miteinander vernetzt sind. In der Regel stehen sie im distalen (lateralen) Endabschnitt in fester Verbindung und lassen sich kaum voneinander isolieren. Bei dieser Variante fehlt diese Verbindung. Daher lassen sich die Muskelverläufe isoliert darstellen. Der M. infraspinatus (ISP) überkreuzt von dorsal kommend den M. supraspinatus (SSP). Der ISP wurde in der Mitte vertikal durchtrennt und im unteren Bild leicht nach lateral umgeklappt. Dadurch wird die Capsula articularis sichtbar. Beachtenswert ist die feste Verbindung des SSP mit der Gelenkkapsel. Der tiefe Anteil der Sehnenfaser des SSP geht praktisch im distalen (lateralen) Endabschnitt in die Gelenkkapsel über (Sternzeichen) und verläuft zu seiner Ansatzstelle am T. majus. M. subscapularis (SSC), Rotatorenintervall (RI).

## **3.2. Hypovaskuläre Zone**

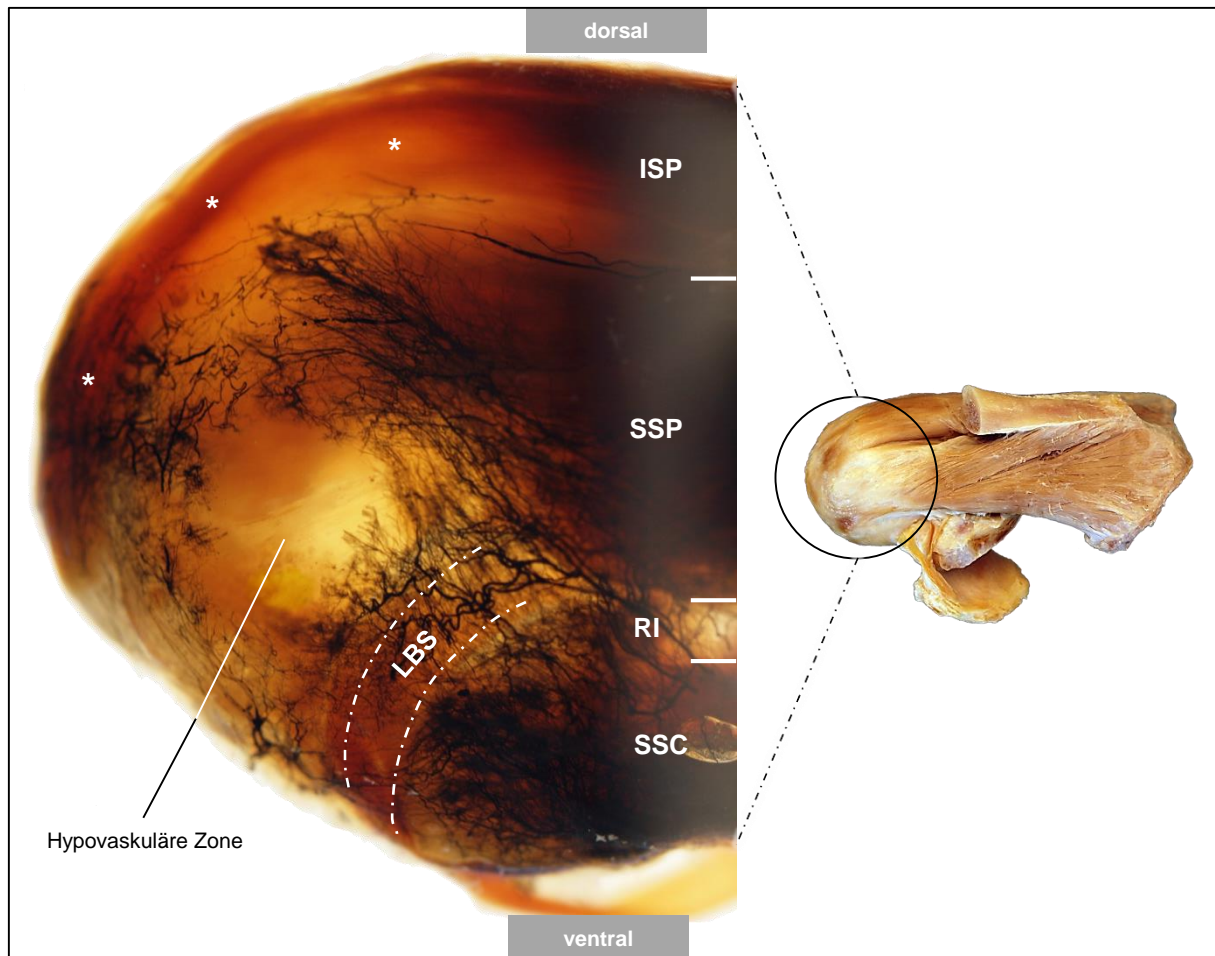
### **3.2.1. Form, Ausdehnung und Lokalisation**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Topografie der hypovaskulären Zone des M. supraspinatus. Folgende Parameter wurden anhand des untersuchten Materials analysiert: Form, Ausdehnung sowie Lokalisation der hypovaskulären Zone mit Bezug auf die Anteile und den Verlauf des M. supraspinatus.

Für diese Untersuchung wurden 18 Schulter-Präparate hergestellt. Zuerst erfolgte eine arterielle Tusche-Gelatine-Injektion des M. supraspinatus (s. Methoden, Seite 36). Dadurch lässt sich die Versorgung, insbesondere die der tieferliegenden Anteile noch nicht optimal darstellen. Aus diesem Grund wurden die Präparate nach der Spaltesholz-Methode weiter bearbeitet, um eine ausreichende Transparenz des umliegenden Gewebes zu erreichen und die injizierten Gefäße in situ sichtbar zu machen (s. Methoden, Seite 37). Für diesen Schritt wurde eine spezielle Präparationsmethode von uns entwickelt, die es ermöglicht nach Entfernung von Humerus und Gelenkkopf die gelenkseitigen Strukturen für die Bearbeitung direkt zugänglich zu machen ohne die Weichteile der Rotatorenmanschette zu verletzen (s. Methoden, Seite 33). Letztendlich ermöglicht diese Prozedur die hypovaskuläre Zone genauer zu lokalisieren, sie von den benachbarten Strukturen samt den oben beschriebenen Anteilen des M. supraspinatus und des M. infraspinatus klarer abzugrenzen und deren Beziehung zu der kritischen Zone zu beobachten (Abb. 3.10).

Die Lage und Ausdehnung der hypovaskulären Zone wurde bisher noch nicht ausreichend beschrieben. Ebenso sind die Gefäßverläufe in der Umgebung weitgehend unbekannt. In der vorliegenden Untersuchung zeigt sich die hypovaskuläre Zone in der Ansicht von oben als ein kreisrundes bis längsgerichtet ovales Areal in der ventralen (anterioren) Sehnenhälfte, mit einem Durchmesser von etwa 10-15 mm. Hier lässt sich keine Gefäßzeichnung mehr feststellen und die Injektionslösung bleibt ausgespart. Sie befindet sich im distalen (lateralen) Endabschnitt der Supraspinatussehne, ca. 1-2 cm von der knöchernen Insertion entfernt, vorwiegend in der Pars recta und dem ventralen Anteil der Pars obliqua und möglicherweise in dem dorsalen Anteil des Rotatorenintervalls. In der dorsalen Nachbarschaft kreuzt die Infraspinatussehne über die posteriore Hälfte der Supraspinatussehne (Abb. 3.10). Um die hypovaskuläre Zone herum lassen sich



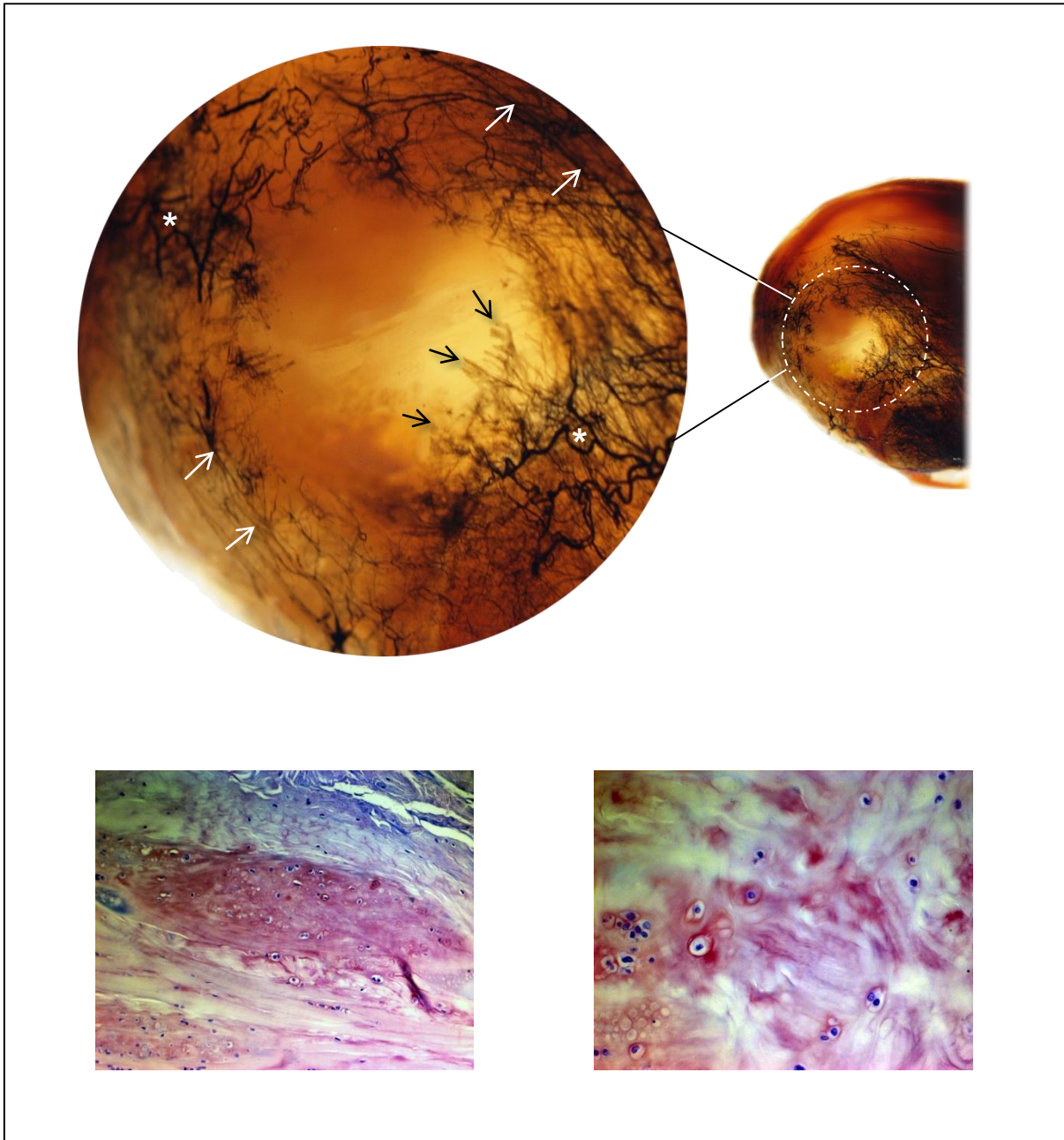


**Abb. 3.10 Hypovaskulären Zone - Tusche-Gelatine-Injektionspräparat**

Rechte Schulter, Ansicht von kranial. Die Gefäßversorgung der Supraspinatussehne wurde durch Tusche-Gelatine-Injektion der versorgenden Gefäße des M. supraspinatus sichtbar gemacht. Humerus und Gelenkkopf wurden entfernt. Durch die anschließende Bearbeitung nach Spalteholz wurde eine Transparenz der Weichteile erreicht. Die hypovaskuläre Zone zeigt sich im anterolateralen Bereich des M. supraspinatus (SSP). Um die Zone herum lässt sich die Anordnung der versorgenden Gefäße beobachten. Das Rotatorenintervall (RI) und die lange Bizepssehne (LBS) stehen in einer engen Beziehung zur hypovaskulären Zone. Beachtenswert ist außerdem der Verlauf des M. infraspinatus (ISP), der von dorsal kommend den M. supraspinatus kurz vor seinem Ansatz am T. majus überkreuzt (Sternzeichen). M. subscapularis (SSC).

Gefäße in zwei Ebenen erkennen, die radiär in die Zone einstrahlen und im Randgebiet enden. Der Verlauf dieser Gefäße steht möglicherweise mit den dynamischen Verhältnissen im Bereich der hypovaskulären Zone in Zusammenhang. Während ein Teil der Gefäße einen geschlängelten Verlauf aufweist, legt sich der andere Teil zunächst zirkulär um die Zone herum und zeigt anschließend einen kurzen radiären Verlauf (Abb. 3.10 und Abb. 3.11, oben).

Außerdem wird die Supraspinatussehne als eine Gleitsehne im Kontaktbereich mit dem Widerlager (Caput humeri) auf Druck und Schub beansprucht. Bei der histologischen Untersuchung lässt sich hier Knorpelgewebe nachweisen, das physiologischer Weise gefäßfrei ist (Abb. 3.11, unten).



**Abb. 3.11 Hypovaskulären Zone**

**Oben)** Rechte Schulter, Ansicht von kranial. Die Gefäßversorgung der Supraspinatussehne wurde durch Tusche-Gelatine-Injektion der versorgenden Gefäße des M. supraspinatus sichtbar gemacht. Humerus und Gelenkkopf wurden entfernt. Durch die anschließende Bearbeitung nach Spalteholz wurde eine Transparenz der Weichteile erreicht. Ein Teil der Gefäße zeigt einen geschlängelten Verlauf (weiße Sternchen), während sich der andere Teil zunächst zirkulär um die Zone herum legt und anschließend radiär in die Zone einstrahlt (weiße Pfeile). Die schwarzen Pfeile markieren die tiefere Versorgungsschicht.

**Unten)** Histologischer Schnitt durch die hypovaskuläre Zone. Hier lässt sich Knorpelgewebe nachweisen (HE-Färbung).

### 3.3. Defekte des M. supraspinatus

Die untersuchten Schultern wurden sowohl auf bursaseitige (bursale) als auch auf gelenkseitige (artikuläre) Defekte wie folgt untersucht:

#### 3.3.1. Bursaseitige (bursale) Defekte

Die Untersuchung des muskulären Faserverlaufs der Rotatorenmanschette erfolgte an 30 Schulterpräparaten. Davon wiesen 27% (8/30) bursaseitige Defekte unterschiedlichen Ausmaßes im M. supraspinatus auf, die sich nach der Entfernung des Schulterdaches und der Bursa subacromialis makroskopisch erkennen ließen. Darunter wurden drei Partialdefekte, vier Totaldefekte und ein kombinierter Partial-/Totaldefekt festgestellt (Tab. 3.1).

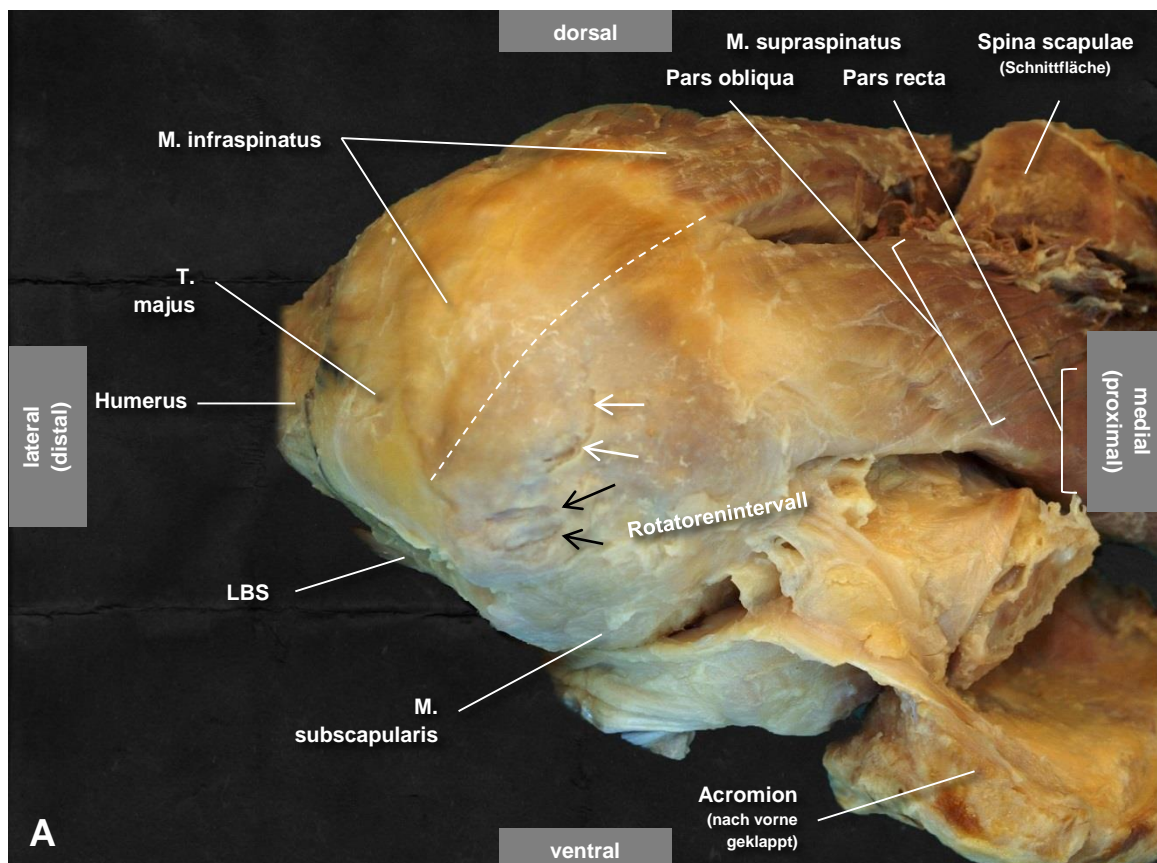
#### Morphologie und Lokalisation

Der folgende Abschnitt handelt von der Morphologie, der Ausdehnung und von der Lokalisation der vorhandenen Defekte des M. supraspinatus auf der Bursa-Seite. Die Beschreibung erfolgte anhand des untersuchten Materials unter Berücksichtigung des muskulären Verlaufs, der vorher beschriebenen Anteile des M. supraspinatus (Pars recta und Pars obliqua) und der kreuzenden Sehne des M. infraspinatus. Jede vorhandene Ruptur (Präparate A-H, Tab. 3.1) wird einzeln beschrieben. Je nach Defektausmaß und Retraktion des Sehnenstumpfes erfolgte eine Klassifikation des Defektes nach Ellman bzw. Patte (näheres s. Einleitung, Seite 19).

Tab. 3.1 Bursaseitige (bursale) Defekte des M. supraspinatus in Übersicht

Präparat	Defekt		Morphologie	Klassifikation	
	partial	total		Schweregrad nach Ellman	Retraktion nach Patte
A	X		transversal	Grad I	
B	X		transversal	Grad I	
C	X		trapezoidal	Grad II	
D	X	X	trapezoidal	Grad III	Grad I
E		X	L-förmig		-
F		X	trapezoidal		Grad II
G		X	triangulärer		Grad II (bis III)
H		X	triangulärer		Grad III

## Präparat-A

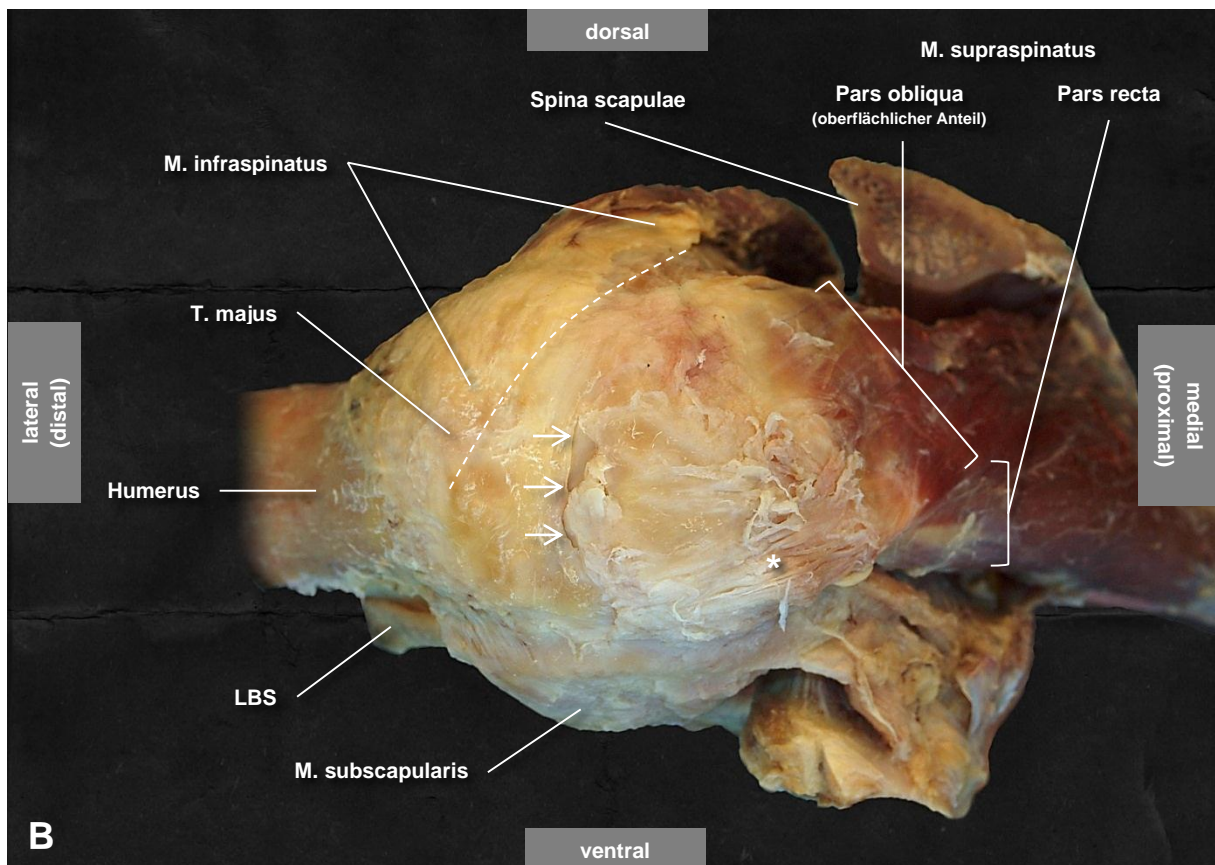


**Abb. 3.12 Präparat-A, zwei bursaseitige Partialdefekte, Grad I nach Ellman**

Rechte Schulter, Ansicht von kraniallateral, Acromion wurde an der Basis (Spina scapulae) durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe wurden entfernt. Zwei bursaseitige transversale Defekte der Supraspinatussehne Grad I nach Ellman (weiße und schwarze Pfeile), die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Die Abb. 3.12 zeigt zwei Partialrupturen der Supraspinatussehne unmittelbar medial (proximal) der Insertionszone, die in der anterioren (ventralen) Hälfte der Supraspinatussehne beginnen. Dieser Bereich stimmt mit der oben beschriebenen Lage der hypovaskulären Zone (näheres s. Abschnitt 3.2.1, Seite 56) überein. Die Kreuzungszone von M. supraspinatus und M. infraspinatus (gestrichelte Linie) liegt in der posterolateralen Nachbarschaft. Betroffen sind hauptsächlich der ventrale oberflächliche Anteil der Pars obliqua (weiße Pfeile) und zusätzlich auch oberflächliche Anteile der Pars recta und des Rotatorenintervalls (schwarze Pfeile). Die Defekttiefe ist kleiner als  $\frac{1}{4}$  des Sehnedurchmessers: Grad I der Partialruptur-Klassifikation nach Ellman.

## Präparat-B

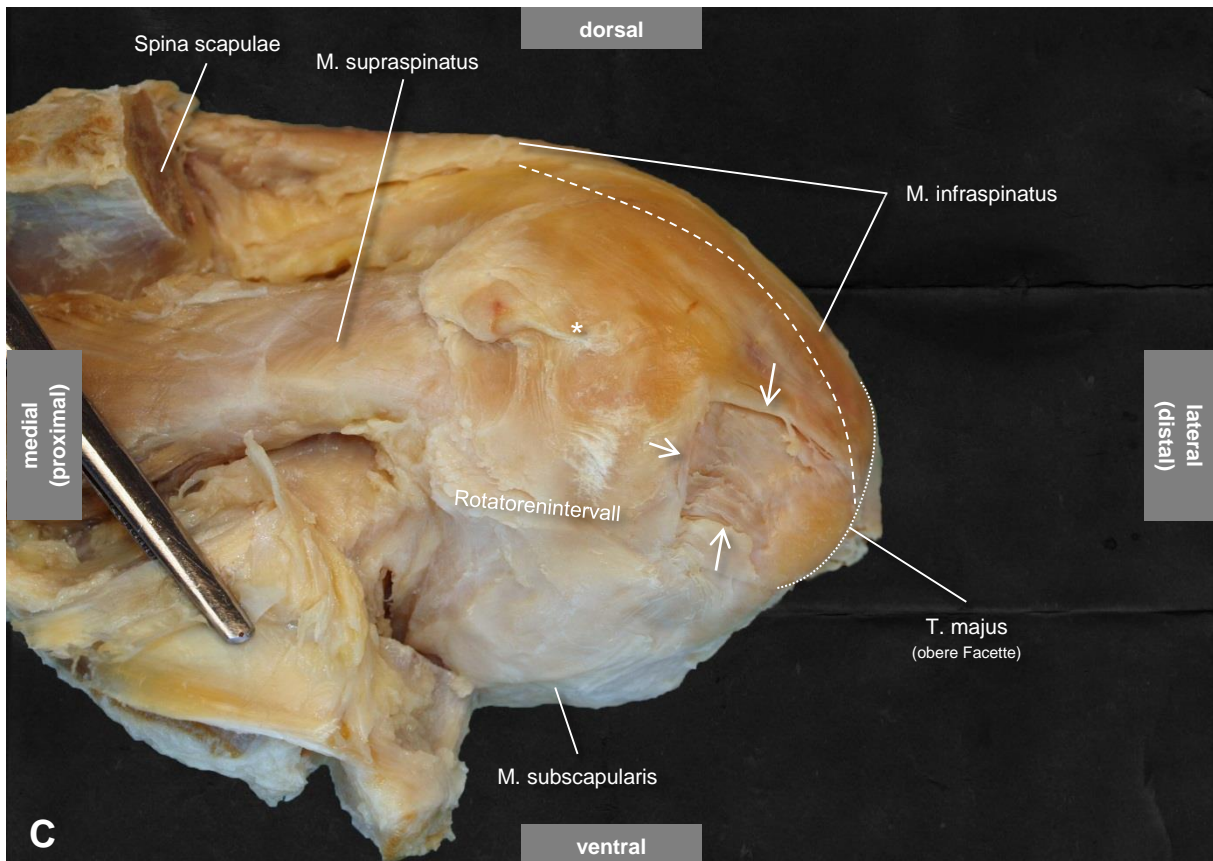


**Abb. 3.13 Präparat-B, bursaseitiger Partialdefekt des M. supraspinatus, Grad I nach Ellman**

Rechte Schulter, Ansicht von laterokraniel, Acromion wurde an der Basis (Spina scapulae) durchtrennt und zusammen mit Fett- und Bindegewebe entfernt. Transversal ausgerichtete Partialruptur (weiße Pfeile) Grad I nach Ellman. Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Hier zeigt das Präparat-B eine transversale bursaseitige Partialruptur (weiße Pfeile). Analog zum Präparat-A war die Defekttiefe kleiner als  $\frac{1}{4}$  des Sehnendurchmessers (Grad I nach Ellman). Diese Ruptur betrifft den oberflächlichen Anteil der Pars obliqua und ist in der anterioren (ventralen) Sehnenhälfte lokalisiert. Diese Lage entspricht somit der hypovaskulären Zone. Die Kreuzungszone (Abb. 3.13, gestrichelte Linie) ist nicht betroffen. Zusätzlich lässt sich eine Verdickung und Auffaserung der Sehnenoberfläche im distoventralen Abschnitt der Pars obliqua feststellen (Abb. 3.13, Sternzeichen).

## Präparat-C

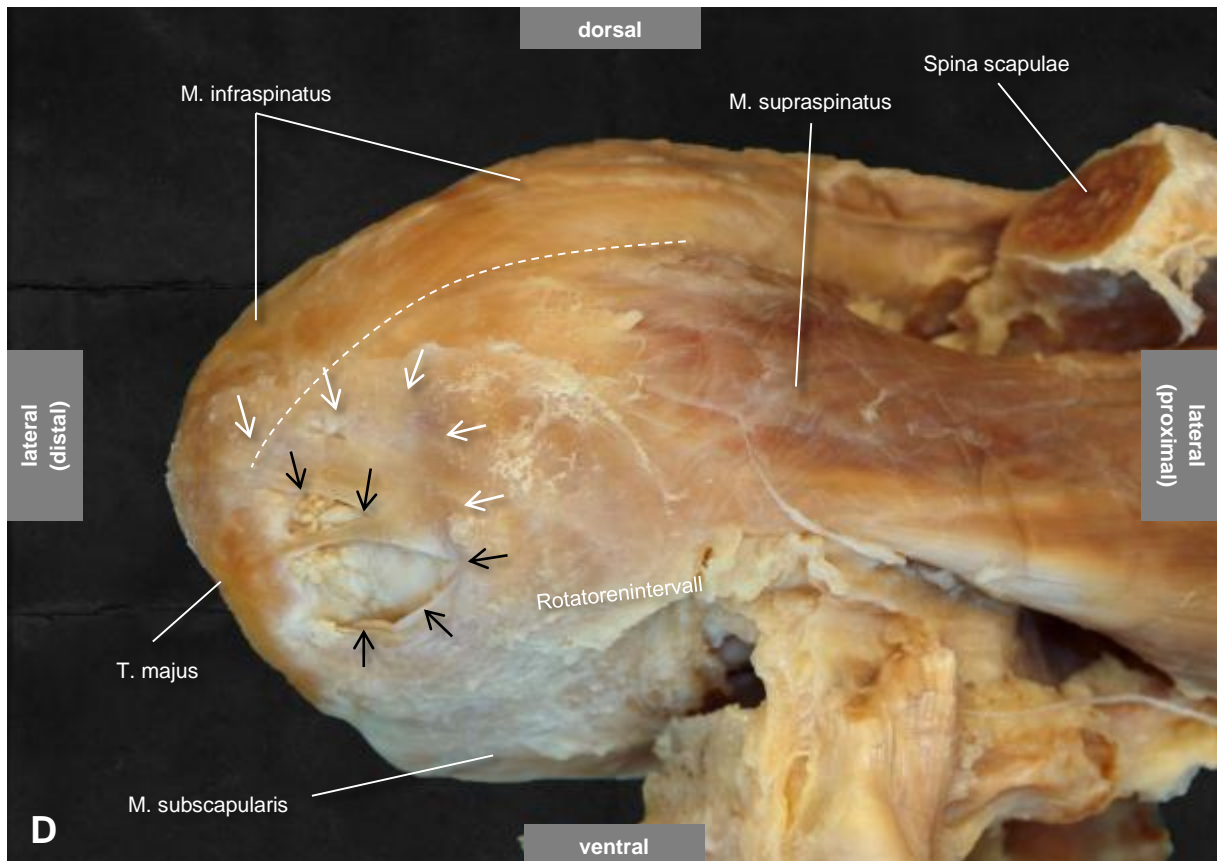


**Abb. 3.14 Präparat-C, bursaseitiger Partialdefekt des M. supraspinatus, Grad II nach Ellman**

Linke Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde an der Basis (Spina scapulae) durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. Trapezoidförmige Partialruptur, grenzt am distalen Ende der Insertionsfläche, Grad II nach Ellman. Die Sehnenoberfläche zeigt proximal (medial) der Ruptur Verwachsungen und Verhärtungen (Sternzeichen). Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Das Präparat-C zeigt eine trapezoidale Partialruptur, die in der vorderen Sehnenhälfte lokalisiert ist. Die Kreuzungszone (gestrichelte Linie) ist nicht beteiligt. Die Ruptur grenzt distal am T. majus. Die hypovaskuläre Zone ist der Lage nach mitbetroffen. Knapp die Hälfte des Sehnedurchmessers ist beteiligt: Grad II nach Ellman. Der oberflächliche Anteil der Pars obliqua ist in diesem Bereich vollständig betroffen. Die Pars recta sowie distale Anteile des Rotatorenintervalls sind nur zum Teil betroffen. Zusätzlich lassen sich Verwachsungen und Veränderungen an der Oberfläche der Supraspinatussehne erkennen (Abb. 3.14, Sternzeichen).

## Präparat-D



**Abb. 3.15 Präparat-D, bursaseitiger retrahierter Partial-/Totaldefekt des M. supraspinatus**

Rechte Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde an der Basis (Spina scapulae) durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. Kombiniertes Partial-/Totaldefekt: Halbmondförmiger Totaldefekt (*crescent*, schwarze Pfeile) und dreieckiger Partialdefekt Grad III nach Ellman (weiße Pfeile). Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Kombinierte Total-/ Partialruptur des M. supraspinatus, die insgesamt trapezoidal geformt ist. Die Totalruptur hat eine halbmondförmige Ausdehnung (*crescent*, Abb. 3.15, schwarze Pfeile), während die dreieckige Partialruptur sich dorsal der Totalruptur anschließt (Abb. 3.15, weiße Pfeile). Der proximale Sehnenstumpf befindet sich zwischen T. majus und Apex humeri (Retraktion Grad I nach Patte) und ist semicircular konfiguriert. Aufgrund der engen Nachbarschaft des Defektes dorsal zur kreuzenden Infraspinatussehne (Abb. 3.15, gestrichelte Linie) und ventral zum Rotatorenintervall ist die Form des Defektes besonders beachtenswert. Der Defekt ist in der anterioren Sehnenhälfte lokalisiert und erstreckt sich in etwa über die gesamte Breite der hypovaskuläre Zone. Es lässt sich ein veränderter Faserverlauf dorsal (durch den Zug der dort kreuzenden Infraspinatussehne) und ventral (durch den Zug der Subskapularissehne) der rupturierten Stelle feststellen.

## Präparat-E



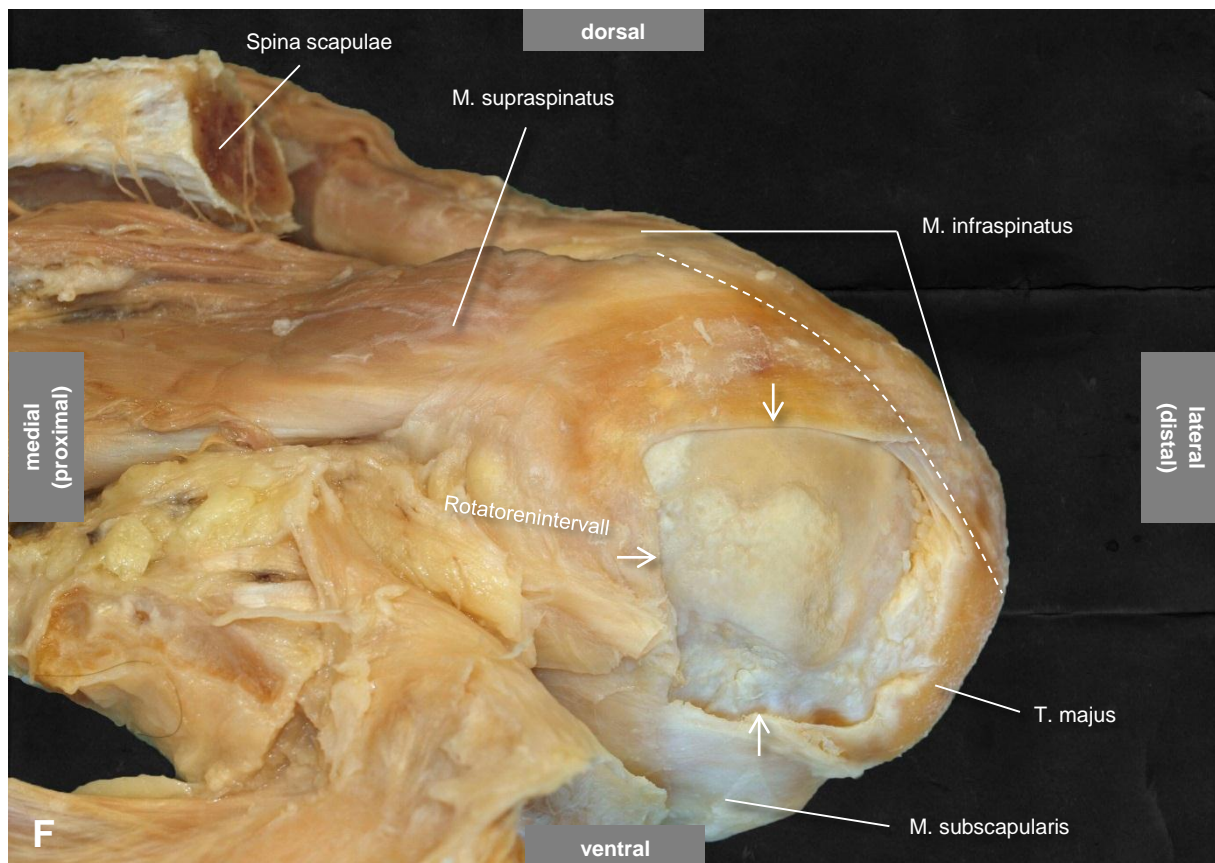
**Abb. 3.16 Präparat-E, bursaseitiger Totaldefekt des M. supraspinatus**

Linke Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde an der Basis durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. L-förmige Ruptur, Pars recta und der Rotatorenintervall zum Teil mitbetroffen. Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

L-förmige Ruptur des M. supraspinatus, ventral der Kreuzungszone und in der vorderen Sehnenhälfte lokalisiert (Abb. 3.16). Die Ruptur, insbesondere der distale Anteil, projiziert sich im Bereich der hypovaskulären Zone. Im Gegensatz zu den anderen hier gezeigten Rupturen, ist das umgebende Gewebe im distalen Sehnenabschnitt verdickt und zeigt eine zerklüftete und verhärtete Oberfläche mit ausgefransten Ausläufern (Sternchen). Die beiden Schenkel der Ruptur treffen sich am T. majus. Die Pars recta, vordere Anteile der Pars obliqua und möglicherweise distale Anteile des Rotatorenintervalls sind betroffen.



## Präparat-F

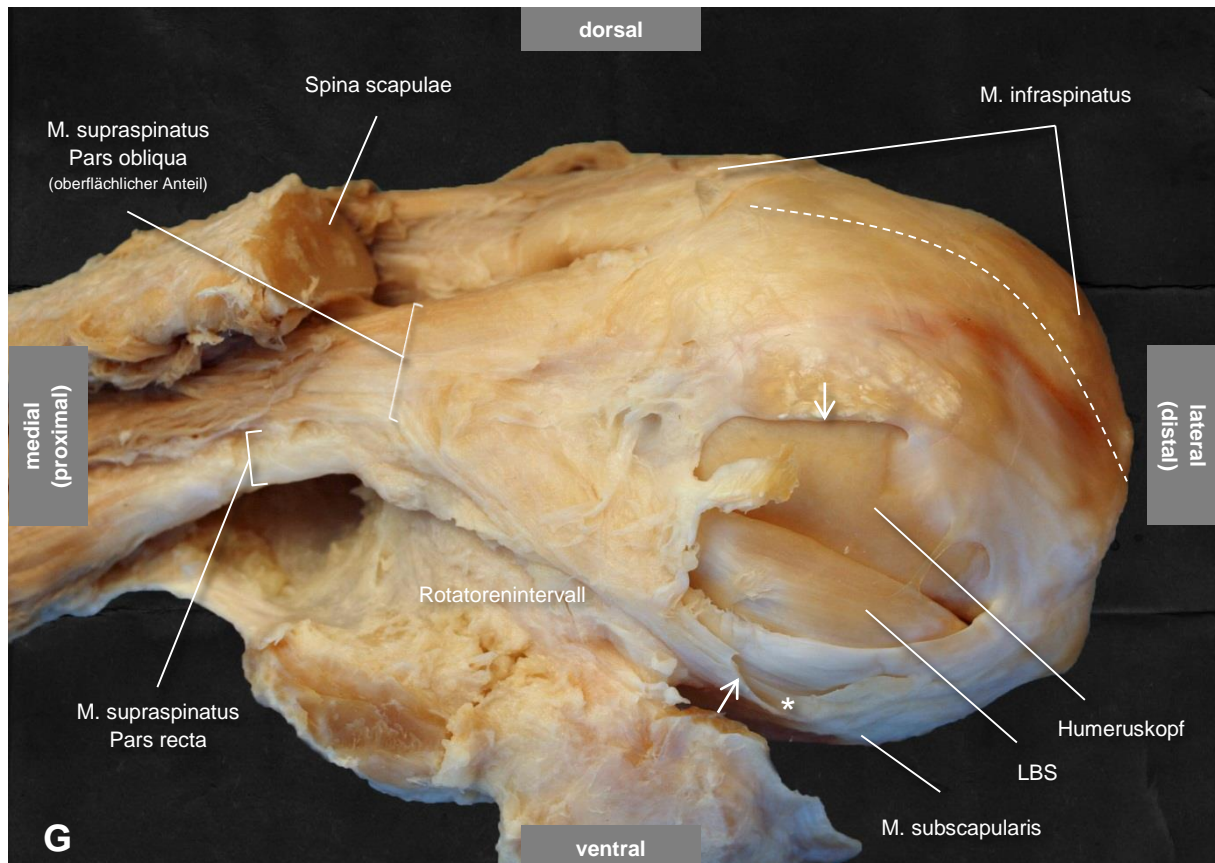


**Abb. 3.17 Präparat-F, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus**

Linke Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde an der Basis (Spina scapulae) durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. Trapezoid-förmige Ruptur, Pars recta vollständig betroffen, das Rotatorenintervall und die Oberkante der Subskapularissehne sind mitbetroffen. Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Das Präparat-F (Abb. 3.17) zeigt eine trapezoidale Totalruptur des M. supraspinatus in der vorderen Sehnenhälfte. Der ventrale Sehnenanteil der Pars obliqua, die komplette Sehne der Pars recta und die distalen Anteile des Rotatorenintervalls sind beteiligt. Die hypovaskuläre Zone ist scheinbar vollständig befallen. Die Ruptur grenzt ventral an die obere Kante des M. subscapularis, die ebenfalls geringfügig betroffen ist. Scheinbar sind nur noch die Verbindung zum M. infraspinatus in der Kreuzungszone und Anteile der dorsalen Sehnenhälfte von der Ruptur verschont geblieben. Der proximale Sehnenstumpf befindet sich zwischen Apex humeri und Glenoid (Retraktion Grad II nach Patte). Zusätzlich zeigt sich ein veränderter Faserverlauf am proximalen Defektrand. Hier verlaufen die Fasern parallel zum proximalen Defektrand nach distal. Die Beziehung der dorsalen Sehnenhälfte des M. supraspinatus zur Infraspinatussehne ist hier deutlich zu erkennen (Abb. 3.17, gestrichelte Linie). Die hier rupturierte lange Bizepssehne wurde entfernt.

## Präparat-G

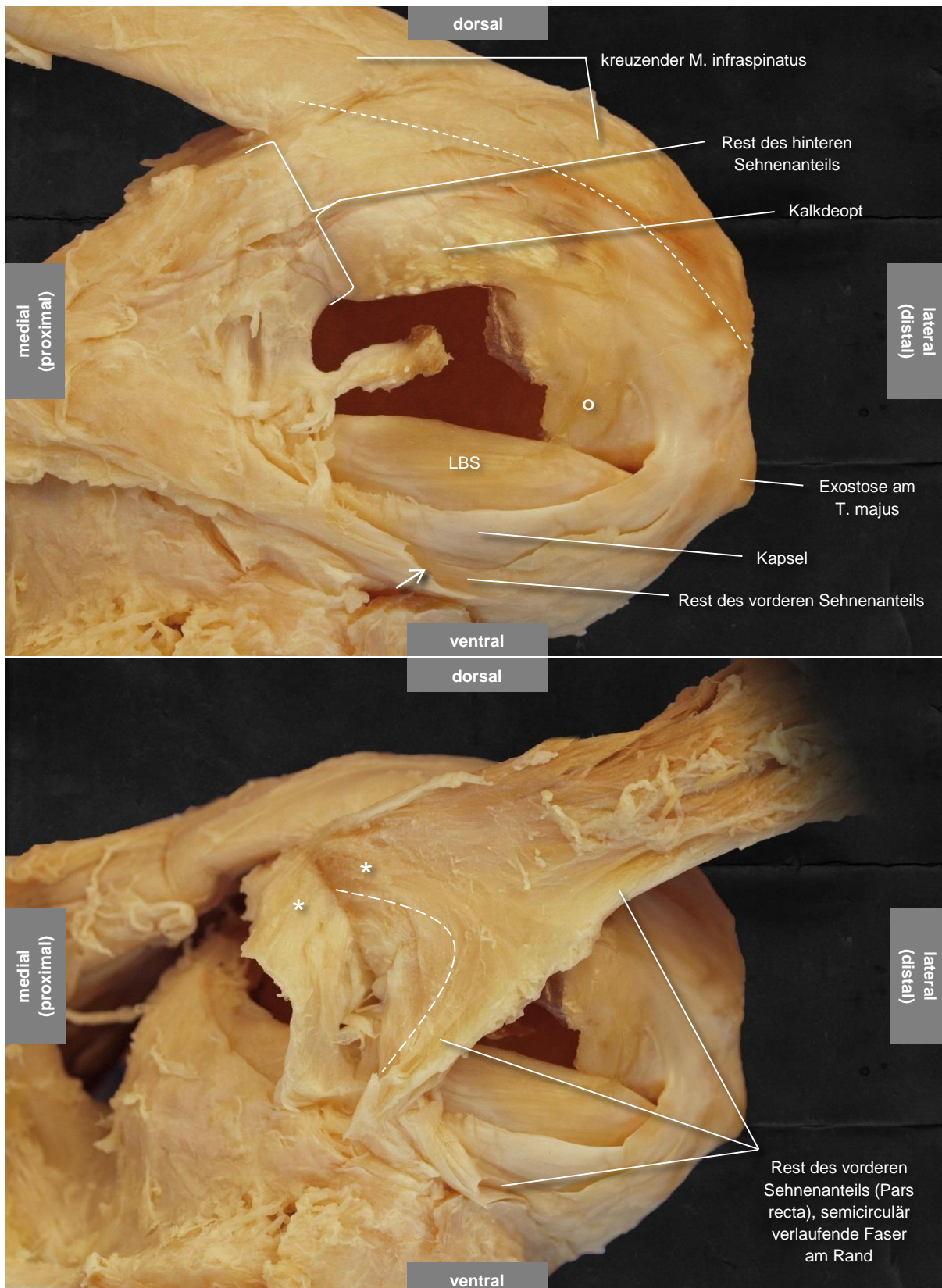


**Abb. 3.18 Präparat-G, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus**

Linke Schulter, Ansicht von kranial, Acromion wurde an der Basis durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. Trianguläre retrahierte Ruptur (Pfeile), die Pars recta ist nur noch in geringem Ausmaß intakt (Sternzeichen) und ist stark nach ventral disloziert. Die gestrichelte Linie markiert den Verlauf des M. infraspinatus im distalen Abschnitt.

Der bei diesem Präparat vorhandene Defekt fällt nicht unter die von Ellman beschriebenen Defektformen. Hier liegt eine trianguläre Ruptur der Rotatorenmanschette nach Rowe vor. Die Supraspinatussehne (vor allem die anteriore Hälfte einschließlich der hypovaskulären Zone) und das Rotatorenintervall sind betroffen (Abb. 3.18). Nach Patte lässt sich eine superiore Ruptur in Segment 2 und 3 erkennen. Der proximale Sehnenstumpf ist parabelförmig konfiguriert und stark nach medial retrahiert (Grad II bis III). Die restliche Pars recta (Abb. 3.18, Sternzeichen) ist stark nach ventral disloziert. Die trianguläre Form der Ruptur ist möglicherweise durch den Zug der Mm. infraspinatus und subscapularis, die Eigenkontraktion des M. supraspinatus sowie durch die passiven Kräfte bei den Rotationsbewegungen entstanden.

Die Abb. 3.19 zeigt zwei Detailaufnahmen vom Präparat-G nach der Entfernung des Humeruskopfes. Der vordere Rupturschenkel enthält Reste des vorderen Sehnenabschnitts des M. supraspinatus und der Kapsel (Abb. 3.19, Oben). Diese



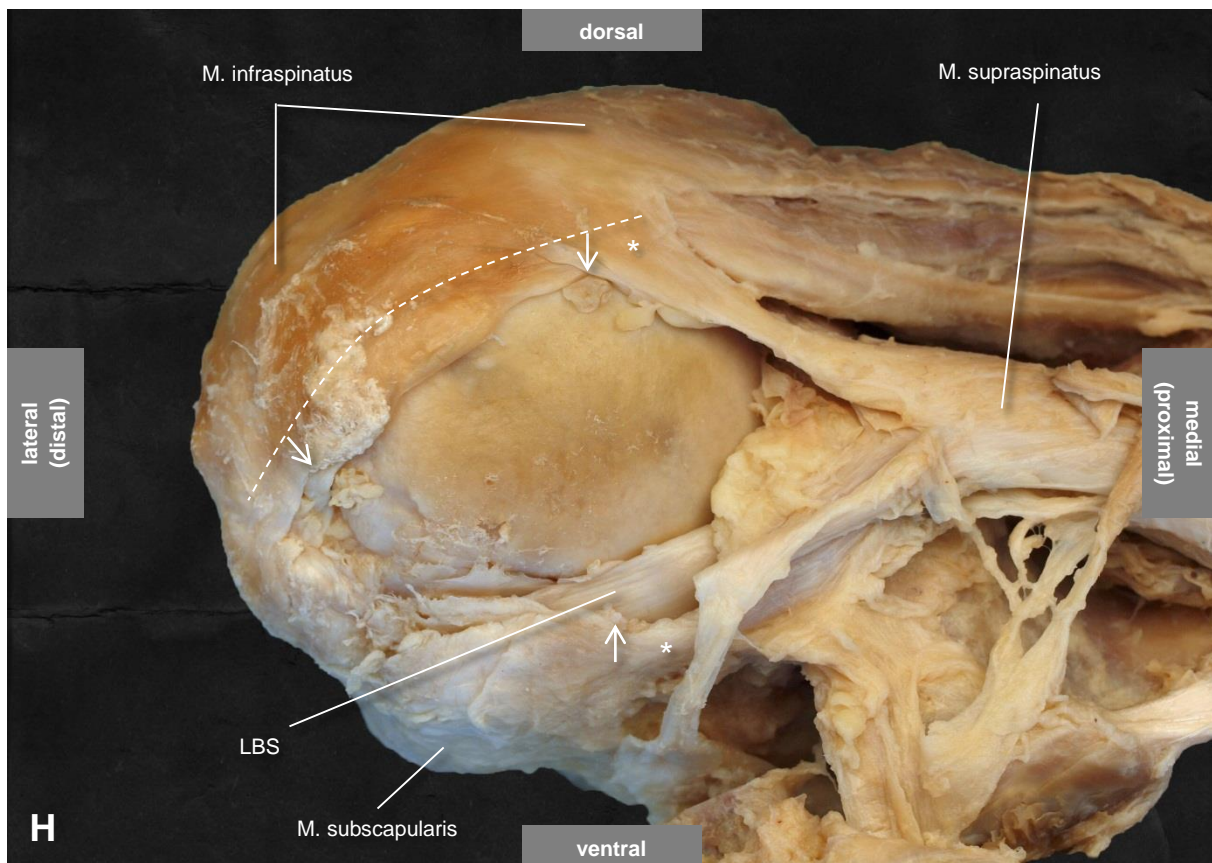
**Abb. 3.19 Präparat-G – Detailaufnahmen**

**Oben)** Der Humeruskopf wurde bis auf den markierten Bereich (Kreis) entfernt. In diesem Bereich sind Verwachsungen der Kapsel und der Sehne mit dem Humeruskopf erkennbar. Der oberflächliche Anteil der Pars obliqua, die den vorderen Sehnenanteil verstärkt, ist ebenfalls gerissen (Pfeil). Beachtet werden sollte der schmale Rest der vorderen Sehne-Kapsel-Band-Einheit.

**Unten)** Der M. supraspinatus ist nach lateral umgeklappt, die gestrichelte Linie markiert den Verlauf der quer verlaufenden Fasern am Rand des Sehnenstumpfes, die Supraspinatussehne wurde hier scharf von der Kapsel isoliert (Sternzeichen), die Kapsel wurde von ihrem Ursprung teilweise abgelöst.

Faserzüge entstammen aus der Pars recta, Teilen der Pars obliqua und zusätzlich Anteilen des Rotatorenintervalls. Die untere Detailaufnahme zeigt das Präparat-G nachdem der M. supraspinatus von seinem Ursprung abgelöst und nach lateral umgekippt wurde. Die Kapsel wurde von ihrem Ursprung am Labrum glenoidale abgelöst und von der Supraspinatussehne isoliert. In dieser Ansicht sind quer verlaufende Fasern zu erkennen, die den proximalen Sehnenstumpf bilden und Ausdruck des Rotatorenkabels (Ligamentum semicirculare humeri) sein können (Abb. 3.19, Unten, gestrichelte Linie). Der hintere Rupturschenkel wird von Teilen der Pars obliqua, der Kapsel sowie der kreuzenden Infraspinatussehne gebildet. Eine genaue Aussage über Mitbeteiligung der Infraspinatussehne lässt sich aber nicht treffen. Sicher ist, dass der Defekt der kreuzenden Infraspinatussehne direkt benachbart ist. In diesem Bereich lässt sich auch ein Kalkdepot beobachten. Betrachtet man die rupturierte Sehne von der Gelenkseite, ist festzustellen, dass die Kapsel und der damit verbundene Abschnitt der Supraspinatussehne (entspricht dem tiefen Sehnenanteil der M. supraspinatus, der mit der Kapsel fest in Verbindung steht) noch weiter gerissen sind als in der bursaseitigen Ansicht zu erkennen ist.

## Präparat-H



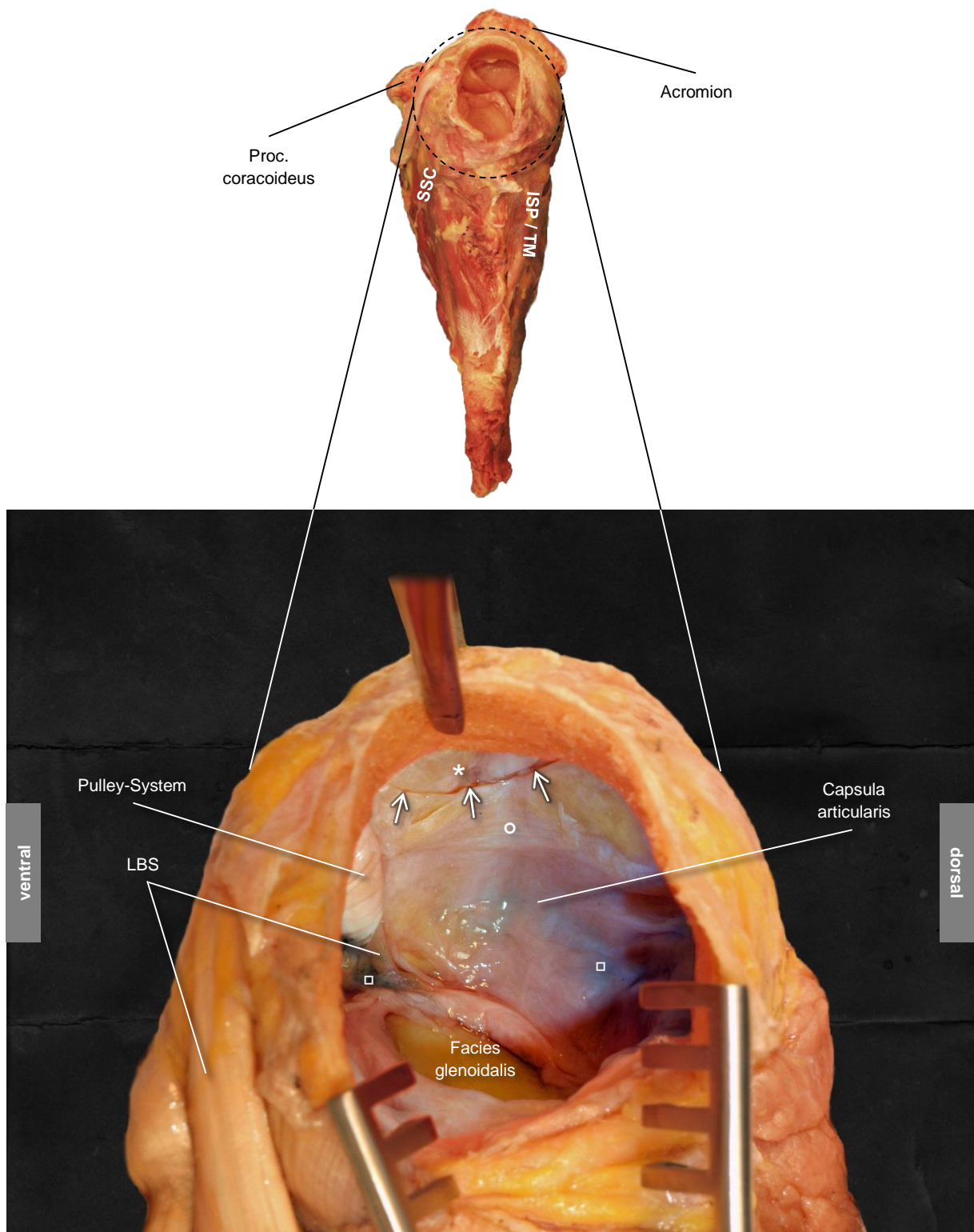
**Abb. 3.20 Präparat-H, bursaseitiger retrahierter Totaldefekt des M. supraspinatus**

Ansicht von kranial, rechte Schulter, Acromion wurde an der Basis durchtrennt und nach vorne geklappt, Fett- und Bindegewebe entfernt. Trianguläre stark retrahierte Ruptur der Supraspinatussehne, die kreuzende Infraspinatussehne bildet teilweise den dorsalen Defektrand (gestrichelte Linie). Die Sehne ist durch den schmalen hinteren Rupturschenkel mit der Infraspinatussehne und durch den vorderen Rupturschenkel mit dem Rotatorenintervall bzw. der Subskapularissehne verbunden (Sternzeichen). LBS, lange Bizepssehne.

Das Präparat-H (Abb. 3.20) beinhaltet eine trianguläre retrahierte Ruptur des M. supraspinatus nach Rowe. Im Gegensatz zum Präparat-G liegt der hier stark atrophierte Sehnenstumpf proximal (medial) des Glenoids und entspricht dem Retraktionsgrad III einer superioren Ruptur in Segment 2 und 3 nach Patte. Nach dorsal besteht nur noch eine schmale Verbindung zum M. infraspinatus, nach ventral ebenfalls eine schwache Beziehung zur Kapsel und zum Rotatorenintervall (Abb. 3.20, Sternzeichen). Die Ruptur ist ventral der Kreuzungszone lokalisiert. Sie grenzt dorsal an die kreuzende Infraspinatussehne, distal (lateral) an die vordere Hälfte des T. majus und ventral an das Rotatorenintervall sowie an die obere Kante des M. subscapularis. Die hypovaskuläre Zone ist vollständig befallen. In der Ansatzregion sowie in benachbarten Anteilen des Humeruskopfes fallen pathologische Veränderungen auf.

### 3.3.2. Gelenkseitige (artikuläre) Defekte

Die gelenkseitigen Partialrupturen der Rotatorenmanschette fallen erst bei arthroskopischen sowie bildgebenden Untersuchungsverfahren auf. Zur Darstellung der gelenkseitigen Strukturen können die gängigen anatomischen Präparationsmethoden die Unversehrtheit des Kapsel-Band-Apparates nicht gewährleisten. Daher wurde eine von uns entwickelte Präparationsmethode angewandt, die es ermöglicht, den Humerus und den Gelenkkopf zu entfernen, ohne den Kapsel-Band-Apparat zu verletzen. So lassen sich die gelenkseitigen Weichteilstrukturen in Ihrer Gesamtheit darstellen (näheres s. Methoden, Seite 33). Durch diese aufwendige Methode wurden 10 makroskopisch (bursaseitig) intakte Schultern auf gelenkseitige Defekte untersucht. Davon wiesen 20% (2/10) Partialdefekte der Rotatorenmanschette auf. Beide Rupturen zeigten eine halbmondförmige Form (*crescent*) und waren im distalen Endabschnitt unmittelbar vor dem Ansatz am T. majus in der sogenannten Crescent-Zone lokalisiert (Abb. 3.21, Pfeile). Die Capsula articularis und die damit verbundenen tiefen Anteile der Supraspinatussehne waren betroffen. Die Defekt-Tiefe war kleiner als  $\frac{1}{4}$  des Sehnedurchmessers: artikulärer Partialdefekt Grad I nach Ellman. Es befand sich ein schmaler Spaltraum zwischen dem rupturierten (Abb. 3.21, weiße Pfeile) und dem nicht rupturierten Anteil (Abb. 3.21, Sternzeichen). Der proximale Defektrand zeigte quer zur Sehnenachse gerichtete Faserzüge, die peripherwärts nach distal verliefen (Abb. 3.21, Kreis).



**Abb. 3.21 Gelenkseitiger Partialdefekt der Rotatorenmanschette, Grad I nach Ellman**

Linke Schulter, Ansicht von lateral, Darstellung der gelenkseitigen Strukturen nach einer arteriellen Tusche-Gelatine-Injektion (schwarze Verfärbungen, Quadrat) und der Entfernung von Humerus und Gelenkkopf.

**Oben)** Übersichtsaufnahme der speziellen Präparationsmethode zur Darstellung der Weichteilstrukturen der Gelenkseite. (näheres s. Methoden, Seite 33).

**Unten)** Detailaufnahme der Gelenkhöhle, die Pfeile markieren eine halbmondförmige (*crescent*) Partialruptur Grad I nach Ellman. Die Gelenkkapsel und der damit verbundene tiefe Anteil der Supraspinatussehne sind beteiligt. Nach proximal lässt sich ein Spaltraum zwischen dem rupturierten (Pfeile) und nicht rupturierten Anteil (Sternzeichen) feststellen. Am Rand des gerissenen Sehnenanteils sind quer zur Sehnenachse verlaufende Fasern zu erkennen (Kreis). Der Defekt grenzt ventral an die lange Bizepssehne (LBS) und das Pulley-System.

## 4. Diskussion

### 4.1. Topografie der Rotatorenmanschette

Die Kenntnisse über die Anatomie der Rotatorenmanschette und deren Besonderheiten spielen eine wichtige Rolle in der Ätiopathogenese der musklotendinösen Defekte und der chirurgischen Therapie. Die Topografie der Rotatorenmanschette, insbesondere der Aufbau und die Insertion der Sehnen wurden bisher mehrmals untersucht. In dieser Arbeit wurden die Anteile der Mm. supraspinatus und infraspinatus, deren Verlauf und Insertion am T. majus dargestellt.

#### 4.1.1. Muskuläre und tendinöse Anteile der Mm. supraspinatus und infraspinatus

##### M. supraspinatus

Nach der allgemein akzeptierten Anatomie entspringt der M. supraspinatus als dreieckiger Muskel in der Fossa supraspinata und inseriert am T. majus (17). Nach Untersuchungen von Mochizuki *et al.* (19) zeigen die meisten Muskelfasern des M. supraspinatus, insbesondere die der oberflächlichen Anteile einen anterolateralen Verlauf, während die restlichen tieferen Fasern nach lateral verlaufen. Unsere Beobachtungen unterstützen zum größten Teil diese Ergebnisse. Wir erfassten zwei muskuläre Anteile, einen kegelförmig aufgebauten nach lateral verlaufenden anterioren Anteil (Pars recta<sup>1</sup>) und einen nach anterolateral verlaufenden posterioren Anteil (pars obliqua<sup>1</sup>), der mit seiner oberflächlichen und tiefen Hälfte den anterioren Anteil „U“-förmig umgibt. Zusätzlich entfernten Mochizuki *et al.* (19) die muskulären Anteile vom tendinösen Abschnitt. Sie beobachteten zwei Anteile der Supraspinatussehne, eine lange dicke anteriore Hälfte und eine kurze dünne posteriore Hälfte. Unsere Ergebnisse zeigen, dass der lange, dicht gepackte und schmale Anteil vorwiegend aus der Pars recta und der kurze, dünne und breite Anteil aus der Pars obliqua entstammen. Clark und Harryman (20) beschrieben den histologischen Aufbau der Rotatorenmanschette im Bereich der Supraspinatussehne in fünf verschiedene Schichten. Die oberflächlichste dünne Schicht 1 besteht aus Fasern des coracohumeralen Ligaments. In der darunter liegenden dicht gepackten

---

<sup>1</sup> Eine Einteilung des M. supraspinatus in Pars recta und Pars obliqua ist nicht Bestandteil der Terminologia Anatomica und wurde aufgrund morphologischer Gegebenheiten zur besseren Beschreibung von uns ausgewählt.



Schicht 2 werden dicke parallel verlaufende Faserbündel beschrieben die direkt vom M. supraspinatus zum Humerus verlaufen. Diese Schicht entspricht der von uns beschriebenen Pars recta und dem oberflächlichen Anteil der Pars obliqua, der sich lateral mit der Pars recta parallelisiert. Die Schicht 3 zeigt eine uniforme Orientierung der Sehnenfaser. Hier kreuzen sich die Sehnenfasern in einem Winkel von 45°. Dies entspricht dem schräg nach anterolateral verlaufenden tieferen Anteil der Pars obliqua. Die Schicht 4 besteht aus lockerem Bindegewebe und die Schicht 5 aus der Capsula articularis. Somit ist die histologische Beschreibung mit unseren makroskopischen Beobachtungen vergleichbar.

Wie bereits erwähnt besteht die Supraspinatussehne anterior aus der dicht gepackten, langen und schmalen Pars recta und posterior aus der kurzen, dünnen und breiten Pars obliqua. Außerdem wird die Sehne posterolateral von der Infraspinatussehne verstärkt (näheres s. Abschnitt 4.1.3, Seite 78). Aus diesem Grund lässt sich im distalen (lateralen) Endabschnitt der Supraspinatussehne im anteromedialen Bereich eine „natürliche Schwachstelle“ erfassen (Pars recta ausgenommen), die der kritischen Zone nach Codman (23) entspricht.

### M. infraspinatus

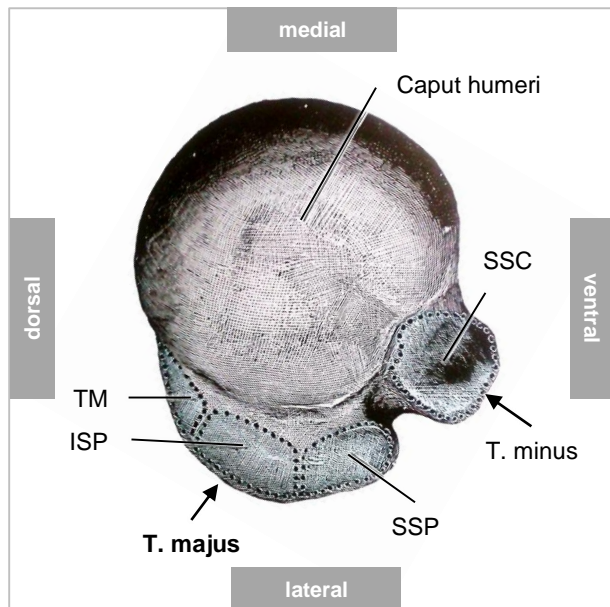
Das Ursprungsfeld des M. infraspinatus nimmt den größten Teil der Fossa infraspinata ein. Kräftiger als der M. supraspinatus setzt der M. infraspinatus oft verwachsen mit der Sehne des M. teres minor am T. majus humeri an (17). Nach Mochizuki *et al.* (19) verlaufen die Muskelfasern, die aus der Fossa infraspinata entstammen diagonal zum T. majus, während die Fasern von der Spina scapulae einen horizontalem Verlauf zum T. majus zeigen und sich mit der dorsalen Fläche der aus der Fossa infraspinata entstammenden Fasern verbinden. Im tendinösen Abschnitt wird die superiore Hälfte der Infraspinatussehne als lang und dick und die inferiore Hälfte als kurz und dünn beschrieben. Unsere Untersuchungen bestätigen diese Ergebnisse. Wir bezeichneten den horizontal verlaufenden Anteil als Pars recta<sup>1</sup> und die diagonal verlaufende Hauptmasse der Infraspinatussehne als Pars obliqua<sup>1</sup>. Des Weiteren kreuzt der superiore Anteil der Infraspinatussehne die Supraspinatussehne von posterolateral und ist fest mit ihr verwachsen (näheres s. Abschnitt 4.1.3, Seite 78).

---

<sup>1</sup> Eine Einteilung des M. infraspinatus in Pars recta und Pars obliqua ist nicht Bestandteil der Terminologia Anatomica und wurde aufgrund morphologischer Gegebenheiten zur besseren Beschreibung von uns ausgewählt.

#### 4.1.2. Sehneninsertionen am T. majus

Die meisten Lehrbücher der Anatomie beschreiben die Mm. supraspinatus, infraspinatus und teres minor als drei parallel zueinander verlaufende Muskeln, die separat an einer eigenständigen Ansatzstelle am T. majus inserieren (9, 17). Gray's Anatomie (8, 18) weist zusätzlich auf drei flache „Impression“ oder „Facetten“ an der superioren Fläche des T. majus hin (Abb. 4.1). Die Supraspinatussehne inseriert an der oberen Facette, die Infraspinatussehne an der mittleren und die Sehne des M. teres minor an der unteren Facette des T. majus. Die Insertion der

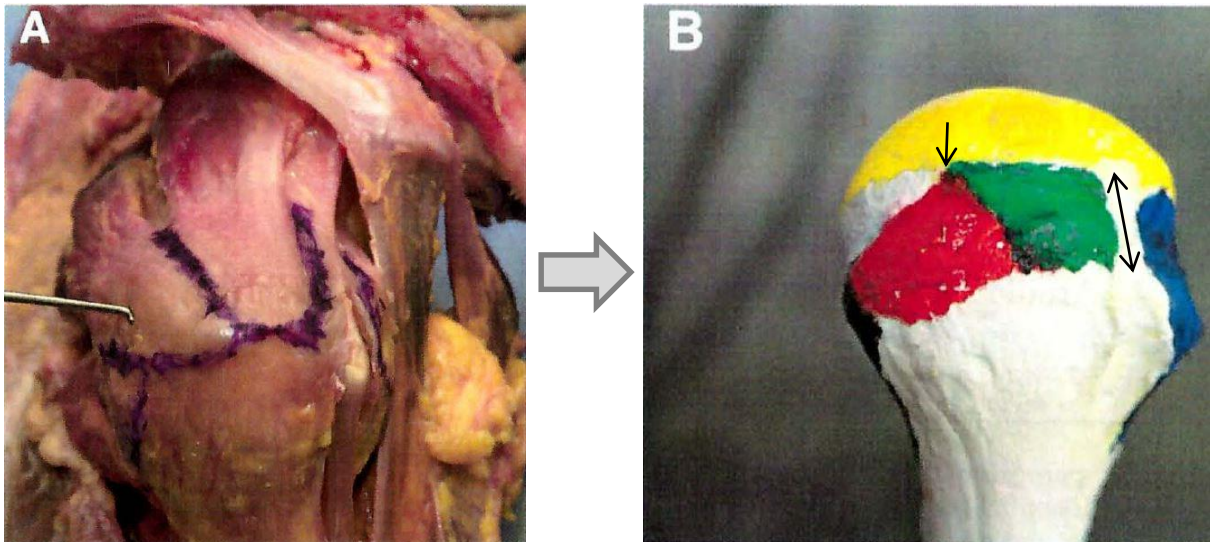


**Abb. 4.1 Drei Facetten am T. majus nach Gray (8)**

Humerus, Ansicht von kranial, der T. majus präsentiert an seiner superioren Fläche drei Facetten. An der oberen Facette inseriert die Supraspinatussehne (SSP), an der mittleren die Infraspinatussehne (ISP) und an der unteren die Sehne des M. teres minor (TM). Subskapularissehne (SSC) setzt am T. minus an.

Rotatorenmanschettenmuskeln am Humerus wurde ebenfalls in mehreren Studien untersucht. Fast alle (1, 12, 57, 58) zeigen ähnliche Ergebnisse wie in den Lehrbüchern der Anatomie.

Zur Beschreibung der insertionalen Anatomie der Rotatorenmanschette führten Curtis *et al.* (12, 59) den Begriff „*footprint*“ ein, der seitdem auch von anderen Autoren verwendet wurde (57). Somit beschreibt der *footprint* den knöchernen Ansatz einer Sehne. Die Ausdehnung der *footprints* wurde letztendlich mit Bezug auf die Facetten am T. majus bzw. auf vordefinierte Bezugspunkte beschrieben. Curtis *et al.* (12, 59) wählten die Gelenkfläche, den Sulcus intertubercularis (*biceps groove*) und die sogenannte „*bare area*“ als Bezugspunkte aus, wobei die oberste Stelle der „*bare area*“ als arthroskopisch feststellbare Grenze zwischen Supra- und Infraspinatussehne gewählt wurde. So wurde die anterior-posteriore Breite der Insertionsfläche (*footprint*) der Supraspinatussehne (Abb. 4.2, grüne Markierung) als die Fläche zwischen der obersten Stelle der sogenannten *bare area* (Abb. 4.2, Pfeil) und dem Sulcus intertubercularis (Abb. 4.2, Doppelpfeil) bestimmt. Zusätzlich wurde von ihnen die mediolaterale Breite der Sehneninsertion bestimmt: anterior an der Grenze zum Rotatorenintervall und posterior an der Fortsetzung der Grenzlinie zwischen Supra- und Infraspinatussehne entlang der Spina scapulae.

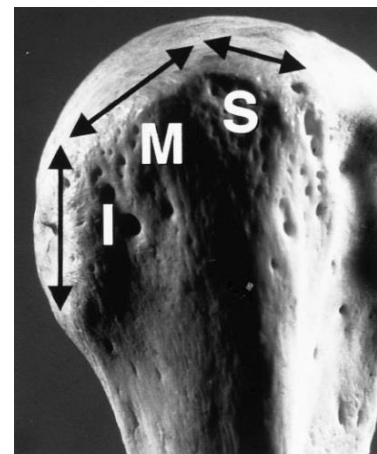


**Abb. 4.2 Insertionaler *Footprint* der Rotatorenmanschette modifiziert aus Curtis *et al.* (2006)**

**A)** Laterale Ansicht der muskulotendinösen Einheit, die Linien markieren die Schnittstellen vor Präparation.  
**B)** Das Präparat zeigt die Insertionsflächen (*footprints*) der Supraspinatussehne (grün), der Infraspinatussehne (rot), der Sehne des M. teres minor (schwarz) und der Subskapularissehne (blau).  
 Bezugspunkte: Gelenkfläche (gelb), oberste Stelle der *bare area* (Pfeil) und Sulcus intertubercularis (*biceps groove*, Doppelpfeil)

Ruotolo (57) ermittelte die anterior-posteriore sowie mediolaterale Breite der Insertionszone. Als Rand der Supraspinatussehne wurde anterior die Grenze zum Rotatorenintervall und posterior die Grenzlinie zwischen Supra- und Infraspinatussehne entlang der Spina scapulae definiert. Die anterior-posteriore Breite wurde mit einem Messschieber (*caliper*) gemessen. Die mediolaterale Breite wurde jeweils an der anterioren und posterioren Grenze bestimmt.

Zur Darstellung der Sehnenfasern entfernten Minagawa *et al.* (1) die oberflächlichen Anteile der Rotatorenmanschette und lokalisierten den Ansatzbereich mit Bezug auf die anteriore Grenze des T. majus und die superiore Grenze des sogenannten Sulcus (23) (das knorpelfreie Areal am Collum anatomicum). Zusätzlich beschrieben sie den Ansatzbereich der Supra- und Infraspinatussehne mit Bezug auf die drei Facetten am T. majus (Abb. 4.3, Abb. 4.6). Sie postulierten, dass die Supraspinatussehne nicht nur an der oberen (superioren) Facette des T. majus sondern auch an der superioren Hälfte der mittleren Facette ansetzt, während



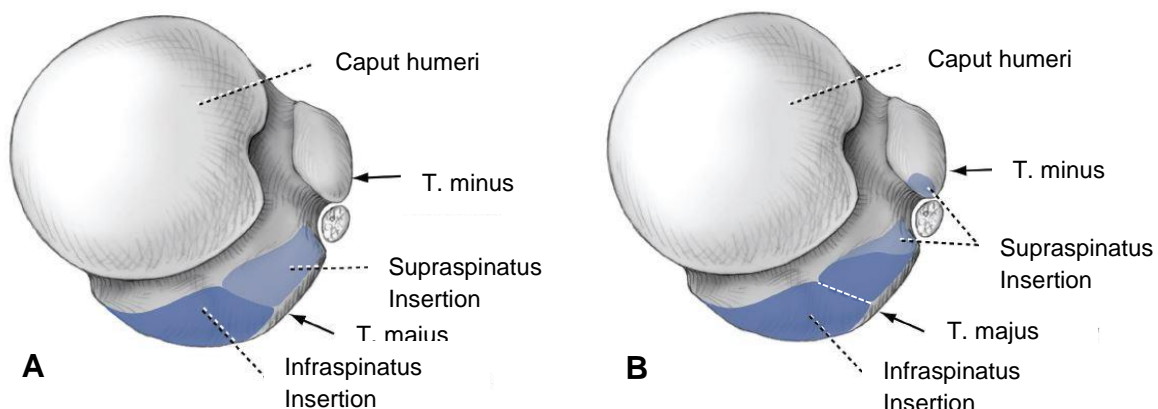
**Abb. 4.3 Drei Facetten des T. majus aus Minagawa *et al.* (1998)**

obere Facette (S, superior), mittlere Facette (M, middle) und untere Facette (I, inferior).

die Infraspinatussehne an der gesamten Länge der mittleren Facette ansetzt und die posteriore Hälfte der Supraspinatus bursaseitig bedeckt. Dagegen berichteten Mochizuki *et al.* (2, 19) über eine wesentlich kleinere Ansatzfläche der

Supraspinatussehne am T. majus als bisher angenommen (Abb. 4.4). Demnach wird dieser Bereich (am T. majus) von einem erheblichen Anteil der Infraspinatussehne besetzt. Sie beschrieben einen langen tendinösen Anteil des M. supraspinatus in der ventralen (anterioren) Hälfte, der am weitesten ventral (anterior) an der oberen Facette des T. majus ansetzt und in ca. 21% der Fälle eine Ansatzfläche an der obersten Stelle des T. minus hat. Für den M. infraspinatus wurde ebenfalls ein langer tendinöser Anteil in der kranialen (superioren) Muskelhälfte beschrieben, der sich in einem nach anterior biegenden Verlauf auf die anterolaterale Fläche der oberen Facette des T. majus ausdehnt und diese Fläche zusätzlich zu der bisher angenommenen Ansatzfläche an der mittleren Facette (des T. majus) besetzt.

Analog zu den Untersuchungen von Mochizuki *et al.* (2, 19) (Abb. 4.4) belegen unsere Ergebnisse, dass die Insertionsfläche der Supraspinatussehne am T. majus wesentlich kleiner ist als bisher angenommen und eine dreieckige bis trapezoidale Form im anteromedialen Bereich des T. majus aufweist. Die Infraspinatussehne setzt folglich an einer größeren Fläche an, die im anterolateralen sowie posterior-superioren Anteil des T. majus lokalisiert ist (Abb. 4.5).



**Abb. 4.4 Humerale Insertion der Supra- und Infraspinatussehne modifiziert aus Mochizuki *et al.* (2009)**

Rechter Humerus in der Ansicht von superior, Darstellung der Insertion der Supra- und Infraspinatussehne

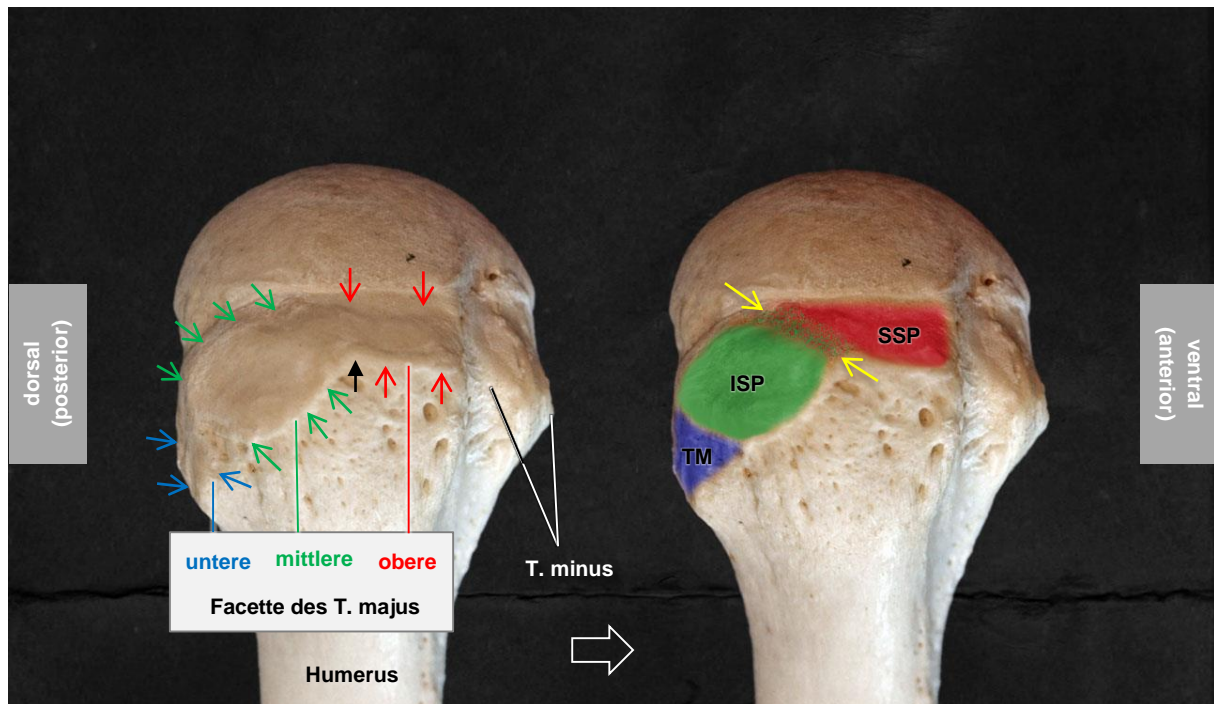
**A)** Allgemein akzeptierte Anatomie der humerale Insertion: Die Supraspinatussehne inseriert an der oberen Facette und die Infraspinatussehne an der mittleren Facette des T. majus.

**B)** Untersuchungen Mochizuki *et al.* (2): Die Insertionsfläche der Infraspinatussehne nimmt etwa die Hälfte der oberen Facette und die gesamte mittlere Facette des T. majus ein. Die Insertionsfläche der Supraspinatussehne ist in der anteromedialen Region der superioren Facette lokalisiert und dehnt sich in manchen Fällen bis an die oberste Stelle des T. minus aus. Die weiße gestrichelte Linie markiert die Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus.

Da die Sehnen der Rotatorenmanschette insbesondere die der Mm. supraspinatus und infraspinatus distal (lateral) eng miteinander verzahnt sind (s. Abschnitt 4.1.3, Seite 78) ist eine sichere Isolierung und Verfolgung der beiden Sehnen bis zum knöchernen Ansatz praktisch unmöglich. Clark und Harryman (20) wiesen ebenfalls auf

Schwierigkeiten bei der Isolierung der Sehnen und Abgrenzung der Insertionsflächen hin. Die vorhandenen Diskrepanzen sind möglicherweise die Folge der eingesetzten Präparationsmethode der Rotatorenmanschette (19) und der unterschiedlich ausgewählten Bezugspunkte, die zur Bestimmung der Größenausdehnung der Insertionsflächen ausgewählt wurden.

Nach dem Wolff'schen Gesetz (60, 61) „*form follows function*“ und der „kausalen Histogenese“ von Pauwels (62) passt sich der menschliche Knochen sowohl in seiner äußeren Form, als auch mit seinen inneren Strukturen an äußere mechanische Belastungen an. Diesem Gesetz entsprechend können die drei Facetten am T. majus die Anpassungen an die einwirkenden Kräfte widerspiegeln, die insbesondere durch den Sehnenzug des jeweiligen Rotatorenmanschettenmuskels entstanden sind. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die drei „Facetten“ eine räumliche Anordnung in Form von drei unterschiedlich ausgerichteten Flächen darstellen, die mit bloßem Auge am T. majus erkennbar sind (Abb. 4.5). Die räumliche Anordnung und Ausdehnung der Facetten korreliert direkt mit den einwirkenden Kräften der jeweiligen Sehne, die ebenfalls unterschiedlich gerichtet sind. Dieser Annahme zufolge sind die Insertionsflächen (*footprints*) stets genauso groß wie die makroskopisch sichtbaren Facetten (Impressionen) am T. majus. Diese Facetten (Impressionen) sollten daher nicht isoliert von den Sehneninsertionen Beachtung finden. Die obere (superiore) Facette befindet sich im anteromedialen Bereich des T. majus, während die mittlere Facette die anterolaterale sowie die posterior-superiore Fläche des T. majus und die untere (inferiore) Facette die posterior-inferiore Fläche des T. majus ausmacht. Am T. majus lässt sich lateral meist ein knöcherner Vorsprung tasten, der die Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette markiert (Abb. 4.5, schwarzer Pfeil). Zusätzlich belegen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, dass die Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette nicht von medial nach lateral (entlang der Spina scapulae wie bisher angenommen) sondern deutlich von posteromedial nach anterolateral verläuft (Abb. 4.5, gelbe Pfeile). Dieses Ergebnis weist ebenfalls auf eine kleinere obere Facette (=kleinere Insertionsfläche der Supraspinatussehne) und eine größere mittlere Facette (=größere Insertionsfläche der Infraspinatussehne) am T. majus hin als bisher bekannt.



**Abb. 4.5 Drei „Facetten“ und die Insertion der Rotatorenmanschettenmuskeln am T. majus**

Rechter Humerus, Ansicht von laterokraniel

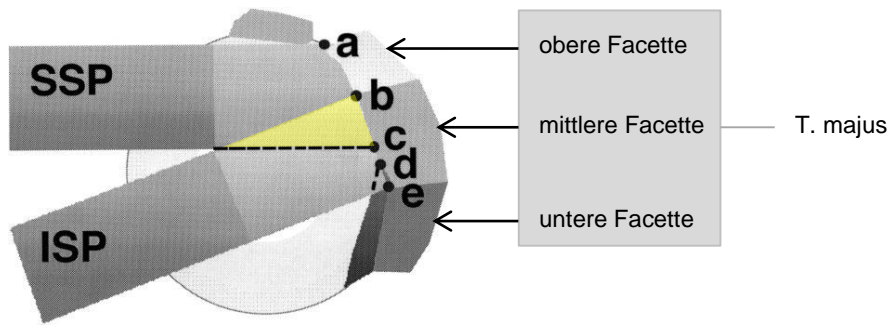
Darstellung der drei makroskopisch sichtbaren Facetten (**obere**, **mittlere** und **untere**) am T. majus (links), die sich möglicherweise durch den Sehnenzug der Rotatorenmanschettenmuskeln (Mm. supraspinatus (**SSP**), infraspinatus (**ISP**) und teres minor (**TM**)) an der Insertionsfläche entwickeln. Die Sehneninsertionen (Ansätze, *footprints*) weisen die gleiche Ausdehnung wie die korrespondierenden Facetten am T. majus auf. Die gelben Pfeile markieren den Verlauf der Grenzlinie zwischen der oberen und mittleren Facette des T. majus, wo sich die Sehneninsertionen (SSP und ISP) analog zur Überlappung der Supra- sowie Infraspinatussehne in diesem Bereich überlappen (= gemeinsame Insertionszone des SSP und ISP). Der schwarze Pfeil markiert die laterale Grenze zwischen der oberen und mittleren Facette, die sich meist als ein knöcherner Vorsprung tasten lässt.

Da sich Supra- und Infraspinatussehne in diesem Bereich kreuzen und fest miteinander verwoben sind (s. unten) ist eine Überlappung der Insertionsflächen und damit eine gemeinsame Insertionsfläche im Grenzbereich vorstellbar (Abb. 4.6, gelbe Pfeile).

In funktioneller sowie biomechanischer Hinsicht sind daher die Begriffe „Impression“ und „*footprint*“ eher ungeeignet. Da sie aber von vielen Autoren eingesetzt wurden, werden einerseits „Impressionen“ und „Facetten“ als anatomische Gegebenheiten am T. majus und andererseits „*footprint*“ und „Ansatz“ bzw. „Insertionsfläche“ der Sehnen der Rotatorenmanschette in dieser Arbeit als Synonyme verwendet.

#### 4.1.3. Kreuzung der Supra- und Infraspinatussehne

Die Kreuzung von Supra- und Infraspinatussehne wurde mehrmals beschrieben (1, 23, 24). Die posterolaterale Supraspinatussehne wird von der Infraspinatussehne überkreuzt. Minagawa *et al.* (1) beschrieben sie erstmals mit Bezug auf Facetten des T. majus. Sie postulierten, dass die Sehnen sich im Bereich der superioren Hälfte der mittleren Facette kreuzen (Abb. 4.6).



**Abb. 4.6 Die Beziehung zwischen Supraspinatussehne (SSP), Infraspinatussehne (ISP) und den anatomischen Bezugspunkten aus Minagawa *et al.* (1998)**

Die Supraspinatussehne setzt an der superioren Facette und superioren Hälfte der mittleren Facette an, während die Infraspinatussehne an der mittleren Facette ansetzt und ein Teil der Supraspinatussehne bedeckt (gelbe Markierung). **a)** Anteriore Grenze des T. majus, **b)** Anteriore Grenze der Infraspinatussehne, **c)** Posteriore Grenze der Supraspinatussehne, **d)** Superiore Grenze des Sulcus (das knorpelfreie Areal am Collum anatomicum), **e)** Posterioren Grenze der Infraspinatussehne

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können ebenfalls eine Kreuzung der Supra- und Infraspinatussehne bestätigen (näheres s. Ergebnisse, Seite 53). Da diese Anteile distal (lateral) fest miteinander verwoben sind, ist eine Isolierung und Verfolgung der beiden Sehnen bis zum knöchernen Ansatz durch übliche Präparationsmethoden praktisch nicht möglich. Folglich ist eine gemeinsame Insertionsfläche der verzahnten Anteile vorstellbar, die sich zwischen den autonomen Insertionsflächen der Supra- und Infraspinatussehne am T. majus befindet (Abb. 4.5). Mit anderen Worten: es gibt nicht nur eine Überlappung der Sehnen, sondern auch eine Überlappung der Sehneninsertionen.

Über die Häufigkeit der Rotatorenmanschettendefekte und die beteiligten Muskeln wurde mehrmals in anatomischen (63-66) sowie klinischen (67-69) Studien berichtet. Mehrere klinische Studien zeigten eine Beteiligung der Supraspinatussehne in etwa 86% bis 100% der Fälle und der Infraspinatussehne in nur 14% bis 48% der Fälle. Allerdings wird bei den Schultern mit bekanntem Supraspinatusdefekt häufig eine Atrophie des M. infraspinatus beobachtet (70, 71). Zusätzlich zeigt sich nicht nur eine Abduktionsschwäche sondern auch eine Außenrotationsschwäche der betroffenen Schulter (72). Eine mögliche Erklärung dafür wäre eine potentielle Mitbeteiligung der Infraspinatussehne im Bereich der Kreuzungszone, die oft übersehen wird. Mochizuki *et al.* (19) zeigten einen deutlich breiteren Ansatz der Infraspinatussehne am T. majus als bisher angenommen. Sie nahmen daher an, dass die Infraspinatussehne möglicherweise viel häufiger bei Rotatorenmanschettendefekten involviert sein könnte. Unter den vorhandenen Defekten der Rotatorenmanschette in dieser Arbeit wurde keine isolierte bursaseitige Beteiligung der Infraspinatussehne festgestellt, während eine Mitbeteiligung der Infraspinatussehne in der Kreuzungszone in etwa

25% (2 von 8) der scheinbar isolierten Defekte der Supraspinatussehne beobachtet wurde. Andererseits war die Kreuzungszone nur zu 75% nicht beteiligt. Sämtliche kleinen Total- und Partialdefekte waren ebenfalls ventral der Kreuzungszone lokalisiert. Tuite *et al.* (73) verglichen mittels MRT-Untersuchung die Prävalenz von anterioren und posterioren Rotatorenmanschettendefekten miteinander. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die meisten Rupturen der Rotatorenmanschette in der anterioren Hälfte der Supraspinatussehne lokalisiert sind. Eine mögliche Erklärung dafür wäre die Verstärkung der posterioren Hälfte durch Infraspinatuskreuzung.

Kenntnisse über Existenz, Ausmaß und Lokalisation der Kreuzungszone ermöglichen somit eine optimale Wiederherstellung der anatomischen Situation durch eine regelrechte Rekonstruktion der gerissenen Anteile in diesem Bereich.

#### **4.2. Beziehung zwischen Rotatorenmanschette und Capsula articularis**

Bei etwa einem Drittel der Kapseloberfläche unmittelbar proximal (medial) der Tubercula am Humerus, konnten Clark *et al.* (28) feste Insertionen der Rotatorenmanschettensehnen feststellen. Die Funktion dieser festen tendinösen Verbindung zur Gelenkkapsel ist nicht bekannt. Clark hielt es für möglich, dass ein Teil der Spannung, die durch Muskeln der Rotatorenmanschette erzeugt wird sich in die Kapsel verteilt. Seine Beobachtungen unterstützen die Auffassung, dass die Kapsel die Rotatorenmanschette verstärkt. Außerdem verhindert die Verwachsung der Sehne mit der Gelenkkapsel gleichzeitig eine Einklemmung der Kapsel in das Schultergelenk. Wir konnten ebenfalls regelmäßig eine feste Verbindung, wie von Clark beschrieben, zwischen den tieferen Anteilen der Supraspinatussehne und der Capsula articularis feststellen (s. Ergebnisse, S. 43). Diese Verbindung kann daher zur Verstärkung der Rotatorenmanschette beitragen. Andererseits kann diese Verbindung distale (laterale) Anteile der Gelenkkapsel unter Spannung setzen und möglicherweise die Entstehung einer sogenannten „rim-*rent*“-Läsion nach Codman (23) (gelenkseitige Partialruptur am proximalen (medial) Ansatz (*footprint*) der Supraspinatussehne) begünstigen. Darüber hinaus kann eine Unterbrechung der Verbindung distal (lateral) der Insertion der Sehnenfaser in die Kapsel radiologisch (MRT) oder sonographisch einen intrinsischen Defekt der Supraspinatussehne vortäuschen.



### 4.3. Hypovaskuläre Zone

Codman (23) beschrieb erstmals 1934 die sogenannte „kritische Zone“ (*Critical Zone*), in der die degenerativen Veränderungen der Rotatorenmanschette und strukturelle Defekte bevorzugt festgestellt wurden. Es handelte sich um eine Region der Supraspinatussehne, die ca. 1 cm von der Insertion entfernt liegt.

Die Hypovaskularität der kritischen Zone wird als wesentlicher begünstigender Faktor für degenerative Veränderungen der Rotatorenmanschette angesehen (34, 74) und spielt eine wichtige Rolle in der Pathogenese der Rotatorenmanschettendefekte (75, 76). Mosley und Goldie (1963) (30) waren frühere Widersprecher der vaskulären Hypothese und konnten keine Abnormalitäten in der Durchblutung der Rotatorenmanschette erfassen. Dennoch wurde die Blutversorgung der Rotatorenmanschette in weiteren Studien (31, 74-81) mehrfach untersucht und die Existenz einer Zone verminderter Vaskularität in der Supraspinatussehne bestätigt. Katzer (74) konnte sogar eine hypovaskuläre Zone bei Neu- bzw. Frühgeborenen wie auch bei Erwachsenen nachweisen. Das heißt, sie existiert bereits vor der Geburt und kann somit nicht Folge von Fehlbelastung oder degenerativen Prozessen sein.

Durch eine Tusche-Gelatine-Injektion in die Arterien der Supraspinatussehne konnten wir ebenfalls die hypovaskuläre Zone darstellen. Sie ließ sich ca. 1-1,5 cm proximal (medial) der Insertion der Supraspinatussehne am T. majus erkennen. Diese Lokalisation wird in weiteren Untersuchungen bestätigt (76, 77, 79) und stimmt mit der Lokalisation der kritischen Zone nach Codman überein. Allerdings wurde die anterior-posteriore Lokalisation der hypovaskulären Zone mit Bezug auf die Anteile des M. supraspinatus und die kreuzende Infraspinatussehne noch nicht beschrieben. Unsere Untersuchungen zeigten, dass die hypovaskuläre Zone vorwiegend in der vorderen (anterioren) Hälfte der Supraspinatussehne (Pars recta und vorderen Anteile der Pars obliqua) lokalisiert ist. Nach dorsal (posterior) liegt sie nahe der kreuzenden Infraspinatussehne und nach ventral (anterior) grenzt sie an die Vorderkante der Supraspinatussehne und steht somit in enger Nachbarschaft zum Rotatorenintervall. Tuite *et al.* (73) verglichen mittels MRT-Untersuchung die anteriore und posteriore Hälfte der Rotatorenmanschette auf Defekte und fanden die meisten Partial- sowie kleinen Totaldefekte der Rotatorenmanschette in der anterioren Hälfte (79% bei unter 36 jährigen und 89% bei über 36 jährigen Patienten). Diese Ergebnisse können möglicherweise mit der von uns beschriebenen Lokalisation der hypovaskulären Zone in der anterioren Hälfte der Supraspinatussehne zusammenhängen.

Rathbun und Macnab (76) sprachen lediglich von einer lageabhängigen Minderdurchblutung, die der Humeruskopf bei Adduktion und in Neutralposition durch einen Auswringmechanismus auf die Supraspinatussehne bewirkt. Im Gegensatz dazu gingen Tillmann und Schünke (42) von einer primär nicht pathologischen, nicht lageabhängigen hypovaskulären Zone aus, in der die Sehne des M. supraspinatus als Gleitsehne, dort wo sie über das Widerlager (Caput humeri) zieht, auf Druck und Schub beansprucht wird. In diesem Sehnenabschnitt kommt Faserknorpel vor, der physiologischer Weise gefäßfrei ist (82). In der vorliegenden Arbeit konnten ebenfalls Knorpelzellen lichtmikroskopisch nachgewiesen werden (s. Ergebnisse, Seite 56). Aus diesem Grund bestätigen wir eine nicht lageabhängige und physiologische Hypovaskularität in der Supraspinatussehne, die sich zusätzlich lageabhängig durch Einwirkung mechanischer Kräfte verstärken kann.

Nach Moseley (1963) (30) entspricht die kritische Zone der Rotatorenmanschette dem Bereich der Anastomosen zwischen den tendinösen und ossären Gefäßen. Er konnte aber in diesem Bereich keine Hypovaskularität nachweisen. Determe (1996) (77) beschrieb die kritische Zone als eine Konvergenzstelle der versorgenden Arterien (A. circumflexa humeri anterior und posterior und A. thoracoacromialis (Ramus acromialis), A. suprahumeralis (31) (inkonstant)). Im Gegensatz zu Moseley konnte er eine Minderdurchblutung der kritischen Zone nachweisen. Unsere Ergebnisse belegen ebenfalls eine deutliche Hypovaskularität der kritischen Zone. Hier zeigt sich eine Konvergenzzone der terminalen arteriellen Blutgefäße.

Des Weiteren konnten wir ein besonderes Verlaufsmuster der Blutgefäße an der Konvergenzzone feststellen, das weitgehend unbekannt ist. Während ein Teil der Gefäße (vor allem medial und lateral der hypovaskulären Zone) einen geschlängelten Verlauf aufweist, legt sich der andere Teil (vorwiegend anterior und posterior der hypovaskulären Zone) zunächst zirkulär um die Zone herum und zeigt anschließend einen kurzen radiären Verlauf (näheres s. Ergebnisse Seite 56). Katzer (74) untersuchte den Verlauf der Gefäße der Rotatorenmanschette. Bei den Früh- und Neugeborenen konnte er einen vorwiegend gestreckten Verlauf und kaum eine Schlängelung der Äste der A. suprascapularis feststellen, während bei den Erwachsenen sich eine korkenzieherartige Schlängelung beobachten ließ. Unsere Ergebnisse lassen sich darauf zurückführen, dass sich die faserknorpelige und somit gefäßfreie hypovaskuläre Zone als ein, im Vergleich zum umliegenden Gewebe, weniger elastischer Kern nah an der longitudinalen Rotationsachse des Humerus

befindet. Darauf basierend, lässt sich eine Hypothese zur Defektentstehung wie folgt formulieren: Bei der Außenrotation steht die vordere Sehnenhälfte unter dem Einfluss passiver Zug-/Scherkräfte, während die hintere Hälfte bei einer Innenrotation ähnlichen Kräften ausgesetzt ist. Daher ist die hypovaskuläre Zone im Laufe der Bewegungen verschiedenen Kräften ausgesetzt. Abgesehen von der Zugkraft infolge der Muskeleigenkontraktion muss sie bei jeder Rotationsbewegung den passiven Kräften standhalten. Folglich passt sich der vaskuläre Verlauf in der Umgebung der hypovaskulären Zone an. Andererseits entstehen an der äußeren Grenze der weniger elastischen hypovaskulären Zone Spitzenkräfte, die eine Defektentstehung begünstigen können oder sie möglicherweise verursachen. So kann die äußere Grenze der hypovaskulären Zone als eine Prädispositionsstelle für das Auftreten eines Defektes angenommen werden.

#### **4.4. Ätiopathogenese der Rotatorenmanschettendefekte**

Für die Entstehung der Defekte der Rotatorenmanschette werden hauptsächlich die degenerativen Prozesse im Sehnen-Kapsel-Apparat verantwortlich gemacht (34). Nach Uhthoff *et al.* ist eine primäre (intrinsische) Tendinopathie hauptverantwortlich für die degenerativen Rupturen der Rotatorenmanschette (38). Am häufigsten ist die Supraspinatussehne betroffen. Sie weist ca. 1 cm medial der Insertion am T. majus bevorzugt degenerative Prozesse und strukturelle Defekte auf. Dieser Bereich wurde von Codman (23) als kritische Zone bezeichnet (*Critical Zone*). Dabei spielt die kritische Vaskularisation in der Sehnenansatzregion eine wichtige Rolle (31, 74-81). Die Existenz einer hypovaskulären Zone der Supraspinatussehne und ihre Bedeutung für die Ätiopathogenese der Rotatorenmanschettendefekte wurde bereits oben ausführlich diskutiert (s. Abschnitt 4.3).

Bei den Untersuchungen des muskulotendinösen Verlaufs in der vorliegenden Arbeit zeigten sich zwei konstant vorkommende Anteile des M. supraspinatus (Pars recta und Pars obliqua). Der tendinöse Abschnitt stellte sich im anterioren Bereich (Pars recta) lang, dicht gepackt und weniger breit dar und im posterioren Bereich kürzer, weniger dicht und breiter. Der posterolaterale Sehnenanteil wird von der Infraspinatussehne verstärkt. Folglich kann der mediolaterale bis anterolaterale Abschnitt der Supraspinatussehne als eine natürliche Schwachstelle angesehen werden und die Entwicklung von strukturellen Defekten prädisponieren.

Die Rotatorenmanschette ist eine Zusammensetzung aus Kapsel, Bändern und Sehnen um das Schultergelenk. Die Gelenkkapsel ist eine komplexe Struktur, die durch ihren Bandapparat mit spezifischem Faserverlauf verstärkt wird. Clark *et al.* (20, 28) beschrieben erstmals, im superioren Anteil der Gelenkkapsel, parallel verlaufende Kollagenfaserbündel, die senkrecht zur Längsachse der Supraspinatussehne ausgerichtet sind. Auf der Grundlage der histologischen Untersuchungen wurde diese Struktur als tief verlaufende Erweiterung des coracohumeralen Ligaments anerkannt. Als eine einheitliche anatomische Struktur definierte Burkhart 1993 (14) den Rotatorenhalbmond (*rotator crescent*). Es handelt sich um ein dünnes halbmondförmiges Areal der Rotatorenmanschette, das den distalen Anteil der Insertion von Supra- und Infraspinatussehne umfasst. Nach Burkhart wird dieser Halbmond (*crescent*) an seiner proximalen Grenze durch ein dickes Faserbündel begrenzt, das nahezu senkrecht zur Verlaufsrichtung der Supra- und Infraspinatus verläuft. Er bezeichnete es als Rotatorenkabel (*rotator cable*). Das Rotatorenkabel stimmte in Form und Lage mit der von Clark *et al.* beschriebenen Erweiterung des coracohumeralen Ligaments überein. Darüber hinaus erstellten sie ein biomechanisches Modell der Rotatorenmanschettenrupturen. Dem Rotatorenkabel wurde die Funktion eines tragenden Kabels ähnlich wie in einer Hängebrücke zugeschrieben. Die Beobachtungen von Burkhart basieren auf arthroskopischen Untersuchungen des Schultergelenks. Dabei konnte er eine konsistente halbmondförmige Konfiguration im Bereich der distalen Rotatorenmanschette feststellen. Seine Messungen wurden an Leichenschultern durchgeführt. In diesen Messungen zeigte sich das Rotatorenkabel durchschnittlich um das 2,59-Fache dicker als der Rotatorenhalbmond. Eine histologische Untersuchung wurde nicht durchgeführt.

Diese Ergebnisse wurden makroskopisch und histologisch von Fallon *et al.* 2002 (83) bestätigt. Kolts *et al.* (27, 29) stellten fest, dass die beiden Anteile des Lig. coracohumerale (superior und inferior) nicht direkt das T. majus und minus erreichen, sondern in die Gelenkkapsel hineinstrahlen und in ein kapsuläres Semicircular-Band inserieren. Aufgrund der Form und des Faserverlaufs zwischen T. majus und minus wurde dieses Band als das Lig. semicirculare humeri (LSCH) bezeichnet. Im Jahr 2008 wurde das Lig semicirculare humeri oder das Rotatorenkabel als eine unabhängige anatomische Struktur im latero-superioren Bereich der Kapsel von Kask *et al.* (84) makroskopisch und radiologisch (MRT) dargestellt. In dieser Untersuchung wurde bei

den Präparaten mit einem Totaldefekt der Supraspinatussehne eine Dislokation des LSCH nach medial beobachtet, die auf den Zug der SSP und ISP zurückzuführen ist. Letztendlich erfassten diese Erkenntnisse die Grundlagen des vom Burkhart (14, 85) vorgestellten Hängebrücken-Modells bei den Rupturen der Rotatorenmanschette. Unsere Ergebnisse zeigen eine gewisse Chronologie der Defektentstehung der Supraspinatussehne. Die Defekte waren stets in der anterioren Sehnenhälfte lokalisiert (mediolateral bis anterolateral). Die kleineren bursaseitigen Partialdefekte waren transversal oder trapezoidal konfiguriert. Die Totaldefekte waren unterschiedlich stark retrahiert. Der proximale Defektrand (Sehnenstumpf) zeigte meistens je nach Retraktion eine semicirculäre bis parabelförmige Form mit Punctum maximum in der anterioren Hälfte der Supraspinatussehne, die mit stärkerem Zug der Pars recta Mm. supraspinati korrelierte. Unseren Ergebnissen zufolge ist diese Konfiguration nicht nur auf das Hängebrücken-Modell von Burkhart zurückzuführen, sondern womöglich auch auf die direkte Verbindung der Supraspinatussehne zur Infraspinatussehne (posterior) sowie den kräftig aufgebauten anterioren Rand der Supraspinatussehne. Diese Eigenschaften erklären die Stabilität der Sehne im anterioren sowie posterioren Bereich, sodass die Defekte seltener die gesamte Sehnenbreite (anterior-posterior) erfassten. Burkhart (14, 85) postulierte, dass die Lokalisation der Ruptur funktionell viel wichtiger ist als die Rupturgröße. Nach seiner Theorie wird die Kraftübertragung bei den Rupturen innerhalb des Rotatorenhalbmondes vom Kabelsystem der Hängebrücke übernommen. Dennoch gibt es, wie in dieser Arbeit dargestellt, unterschiedlich stark nach proximal retrahierte Rupturränder. Diese Tatsache weist möglicherweise auf chronische Umbauprozesse im Laufe der Defektentwicklung hin, sodass das Lig. semicirculare humeri (Rotatorenkabel) bis über den Glenoidrand nach medial disloziert sein kann. Dieser Vorgang würde vielmehr auf ein defektassoziiertes Rotatorenkabel hinweisen.

Da das Rotatorenkabel definitionsgemäß keine transmurale Struktur ist, die die gesamte Sehrendicke erfasst, sondern ein kapsuläres Verstärkungsband, ist seine Rolle für die Übertragung der gesamten Muskelkraft eher fraglich.

Während die biomechanischen Untersuchungen von Halder *et al.* (86) das Konzept des Rotatorenkabels unterstützen, konnten Macarini *et al.* (87) in einer klinischen Studie keinen signifikanten Einfluss des Rotatorenkabels auf die Schulterfunktion bei Patienten mit Supraspinatusdefekt feststellen.

Es sind weitere Untersuchungen nötig, die die biomechanische Rolle der unterschiedlich stark aufgebauten Anteile der Supraspinatussehne (Pars recta und Pars obliqua) unter Berücksichtigung der engen Beziehungen zur Infraspinatussehne und zum Rotatorenintervall analysieren. Darüber hinaus würde eine Untersuchung der völlig vom Kapsel-Band-Apparat (inklusive Rotatorenkabel) isolierten Supraspinatussehne die biomechanische Rolle des Rotatorenkabels genauer darstellen.

## 5. Zusammenfassung

Defekte der Rotatorenmanschette, die häufig infolge degenerativer Veränderungen und/oder Traumata auftreten, können zur funktionellen Beeinträchtigung der Schulter führen. Meist ist die Sehne des M. supraspinatus involviert, die in einer engen funktionellen und anatomischen Beziehung zur Infraspinatussehne steht. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die anatomischen Besonderheiten der Mm. supra- und infraspinatus hervorzuheben, ihre strukturellen Defekte zu analysieren und die möglichen Zusammenhänge zu erfassen. Das untersuchte Material stammt von Körperspendern, die Ihren Körper dem Anatomischen Institut der Christian-Albrechts Universität zu Kiel für Ausbildung und Wissenschaft zur Verfügung gestellt haben. Die Topografie der Mm. supra- und infraspinatus wurde an 30 fixierten Schulterpräparaten untersucht. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit weisen zwei regelmäßig vorkommende Anteile der Mm. supra- und infraspinatus nach. Aufgrund morphologischer Gegebenheiten und vergleichbarer Verläufe bezeichneten wir diese Anteile als Pars recta und Pars obliqua. Die ventral gelegene Pars recta des M. supraspinatus entspringt in der Fossa supraspinata. Die Sehnenfasern verlaufen lateral dichter zusammen. Der tendinöse Anteil ist lang, dicht gepackt und schmal und inseriert am anterioren Rand der oberen Facette des Tuberculum majus. Die Pars obliqua verläuft von der kranialen Fläche der Spina scapulae schräg nach anterolateral, umfasst die Pars recta von dorsal und verstärkt sie lateral. Der tendinöse Anteil ist im Vergleich kürzer, weniger dicht und breiter aufgebaut und inseriert an der restlichen Fläche der oberen Facette des Tuberculum majus. Die meist sehr schwach aufgebaute Pars recta des M. infraspinatus verläuft von der kaudalen Fläche der Spina scapulae kommend fast horizontal und hat einen schmalen Ansatz an der posterior-superioren Fläche der mittleren Facette des Tuberculum majus. Dagegen macht die Pars obliqua die Hauptmasse des M. infraspinatus aus. Die Muskelfasern entspringen in der Fossa infraspinata und verlaufen nach kraniolateral immer enger zusammen. Die Pars obliqua zieht lateral versteckt unter die Pars recta, biegt nach anterior und überkreuzt dort die Supraspinatussehne von posterolateral und ist dort fest mit ihr verwachsen. Sie besetzt die restliche Fläche der mittleren Facette.

Die Präparate wurden zusätzlich auf Defekte der Rotatorenmanschette untersucht. Auf der Bursa-Seite wiesen 27% der Präparate (8/30) makroskopisch erkennbare Defekte der Supraspinatussehne unterschiedlichen Ausmaßes auf. Darunter wurden drei Partialdefekte, vier Totaldefekte und ein kombinierter Partial-/Totaldefekt festgestellt. Da die Defekte unterschiedlichen Entwicklungsstadien zuzuordnen waren, ließ sich eine gewisse Chronologie der Defektentwicklung beobachten. Immer war die anteriore Sehnenhälfte betroffen. Die kräftige Pars recta der Supraspinatussehne (= anteriorer Sehnenrand) war erst in höhergradigen Defekten betroffen. Ebenfalls war die dorsale Sehnenhälfte, die mit der dort kreuzenden Infraspinatussehne verwachsen ist, nur in fortgeschrittenen Defekten befallen.

Durch eine von uns entwickelte Methode konnten wir zusätzlich Defekte auf der Gelenkseite demonstrieren, ohne die Rotatorenmanschette in ihrer Gesamtheit zu beschädigen.

Die sogenannte hypovaskuläre Zone der Supraspinatussehne wurde ebenfalls untersucht. Dafür wurden weitere 18 Schulterpräparate bearbeitet. Durch eine arterielle Injektion mittels Tusche-Lösung und das „Durchsichtigmachen“ der Präparate nach der Spalteholz-Methode erfolgte die Darstellung der hypovaskulären Zone. Sie stellte sich als eine querovale Aussparung der Injektionslösung in der anterioren Sehnenhälfte etwa 1-1,5 cm proximal des Tuberculum majus dar und wies einen Durchmesser von etwa 1 cm auf. Besonders interessant zeigte sich die bisher weitgehend unbekannte Gefäßarchitektur in der Umgebung der hypovaskulären Zone. Während die medial und lateral der Zone verlaufenden Gefäße einen geschlängelten Verlauf zeigen, legen sich die Gefäße im anterioren und posterioren Bereich zunächst zirkulär um die Zone herum und weisen anschließend einen kurzen radiären Verlauf auf. Die hypovaskuläre Zone enthält Knorpelgewebe, das im Vergleich zu den umliegenden Sehnenanteilen eine geringere Elastizität und folglich im Verhältnis zu ihrer Umgebung andere mechanische Eigenschaften aufweist. Die Gefäßmorphologie korreliert scheinbar mit den dynamischen Verhältnissen im Grenzbereich der hypovaskulären Zone. In diesem Bereich kann es daher potenziell zu einem Auftreten von Spitzenkräften kommen.

Außerdem zeigten unsere Untersuchungen, dass die Supraspinatussehne an einer wesentlich kleineren Fläche am Tuberculum majus inseriert als in der Literatur bekannt. Der verbliebene Platz wird zusätzlich von der Infraspinatussehne besetzt. Wir stellten fest, dass die obere Facette am Tuberculum majus ebenfalls deutlich kleiner und die mittlere Facette größer ist als bisher bekannt. Die Grenzlinie zwischen der oberen und mittleren Facette am Tuberculum majus verläuft nicht von medial nach lateral, sondern deutlich von posteromedial nach anterolateral. Die drei Facetten am Tuberculum majus (obere, mittlere und untere) weisen eine räumliche Anordnung auf, die unseren Untersuchungen entsprechend mit den einwirkenden Kräften der jeweiligen inserierenden Sehne korreliert. Sie entwickeln sich möglicherweise durch äußere mechanische Belastung der drei inserierenden Sehnen und müssen daher stets genau so groß sein wie die Ansatzfläche der inserierenden Sehne.

Sowohl die Lokalisation und Morphologie der von uns beobachteten Defekte als auch die Lage und Gefäßarchitektur der hypovaskulären Zone weisen darauf hin, dass die anteriore Hälfte der Supraspinatussehne als eine Prädispositionsstelle für Entwicklung struktureller Defekte betrachtet werden kann.

Kenntnisse über Existenz und Anatomie der beschriebenen Anteile und Defektmorphologie können zum besseren Verständnis der Anatomie der Rotatorenmanschette und zu optimaler chirurgischer Rekonstruktion beitragen. Zu den Limitationen der vorliegenden Arbeit gehören das hohe Alter und die begrenzte Anzahl des untersuchten Materials. Es sind daher weitere Untersuchungen notwendig, die diese Ergebnisse im Einzelnen überprüfen.



## 6. Literaturverzeichnis

1. Minagawa H, Itoi E, Konno N, Kido T, Sano A, Urayama M, et al. Humeral attachment of the supraspinatus and infraspinatus tendons: an anatomic study. *Arthroscopy : the journal of arthroscopic & related surgery : official publication of the Arthroscopy Association of North America and the International Arthroscopy Association*. 1998;14(3):302-6.
2. Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, Maeda K, Matsuki K, Sekiya I, et al. Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff. *Surgical technique. The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2009;91 Suppl 2 Pt 1:1-7.
3. Nakata W, Katou S, Fujita A, Nakata M, Lefor AT, Sugimoto H. Biceps pulley: normal anatomy and associated lesions at MR arthrography. *Radiographics*. 2011;31(3):791-810.
4. Ellman H, Gartsman GM. *Arthroscopic shoulder surgery and related procedures*. Lea & Febiger (Philadelphia); 1993. p. 8-99
5. Habermeyer P. Rotatorenmanschette und Lange Bizepssehne. *Schulterchirurgie*. München: Urban & Schwarzenberg; 1995. p. 185-213.
6. Rowe CR. *The Shoulder*. New York: Churchill Livingstone; 1988. xxi, 673 p. p.
7. Bigliani LU, Morrison DS, April EW. The morphology of the acromion and its relationship to rotator cuff tears. *Orth Transactions*. 1986;10:216-.
8. Gray H, Clemente CD. *Anatomy of the human body*. 30th American ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1985. XVII, 1676 S p.
9. Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K. *Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 182 Tabellen. 3., überarb. und erw. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2011. XV, 607 S. p.
10. Patte D. Classification of rotator cuff lesions. *Clinical orthopaedics and related research*. 1990(254):81-6.
11. Krieter CH. *Die arthroskopische Klassifikation der artikulareseitigen Rotatorenmanschettenpartialrupturen [Dissertation, LMU München]2008*.
12. Curtis AS, Burbank KM, Tierney JJ, Scheller AD, Curran AR. The insertional footprint of the rotator cuff: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2006;22(6):609 e1.
13. Tillmann B, Koch S. [Functional adaptation processes of gliding tendons]. *Sportverletz Sportschaden*. 1995;9(2):44-50.
14. Burkhart SS, Esch JC, Jolson RS. The rotator crescent and rotator cable: an anatomic description of the shoulder's "suspension bridge". *Arthroscopy*. 1993;9(6):611-6.
15. Lessl W, Imhoff AB. Dekompression arthroskopisch subakromial Schulter/Oberarm. In: Pfeil J, Siebert W, Janousek A, Josten C, editors.

Minimal-invasive Verfahren in der Orthopädie und Traumatologie:  
Springer Berlin Heidelberg; 2000. p. 93-101.

16. Braune C, Gramlich H, Habermeyer P. Der makroskopische Aspekt der Rotatorenmanschettenruptur bei traumatischen und atraumatischen Rupturformen. Unfallchirurg. 2000;103(6):462-7.

17. Tillmann B, Leonhardt H, Rauber A, Kopsch F. Bewegungsapparat. [Neuaufll., 20. Aufl.], 2., verb. Aufl. ed. Stuttgart [u.a.]: Thieme; 1998. XI, 797 S. p.

18. Gray H, Williams PL, Bannister LH. Gray's anatomy : the anatomical basis of medicine and surgery. 38th ed. New York: Churchill Livingstone; 1995. xx, 2092 p. p.

19. Mochizuki T, Sugaya H, Uomizu M, Maeda K, Matsuki K, Sekiya I, et al. Humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus. New anatomical findings regarding the footprint of the rotator cuff. The Journal of bone and joint surgery American volume. 2008;90(5):962-9.

20. Clark JM, Harryman DT, 2nd. Tendons, ligaments, and capsule of the rotator cuff. Gross and microscopic anatomy. J Bone Joint Surg Am. 1992;74(5):713-25.

21. Kolts I, Busch LC, Tomusk H, Rajavee E, Eller A, Russlies M, et al. Anatomical composition of the anterior shoulder joint capsule. A cadaver study on 12 glenohumeral joints. Annals of anatomy = Anatomischer Anzeiger : official organ of the Anatomische Gesellschaft. 2001;183(1):53-9.

22. Merila M, Helio H, Busch LC, Tomusk H, Poldoja E, Eller A, et al. The spiral glenohumeral ligament: an open and arthroscopic anatomy study. Arthroscopy. 2008;24(11):1271-6.

23. Codman EA. The shoulder; rupture of the supraspinatus tendon and other lesions in or about the subacromial bursa. Boston, Mass.: T. Todd company; 1934. liii, 513, 29 p. p.

24. Neer CS, 2nd. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder: a preliminary report. J Bone Joint Surg Am. 1972;54(1):41-50.

25. Waldeyer A, Anderhuber F. Waldeyer - Anatomie des Menschen. Lehrbuch und Atlas in einem Band ; [44 Tabellen]. 19., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. ed. Berlin [u.a.]: de Gruyter; 2012. XIX, 1176 S. p.

26. Nobuhara K, Ikeda H. Rotator interval lesion. Clin Orthop Relat Res. 1987(223):44-50.

27. Kolts I, Busch LC, Tomusk H, Arend A, Eller A, Merila M, et al. Anatomy of the coracohumeral and coracoglenoidal ligaments. Ann Anat. 2000;182(6):563-6.

28. Clark J, Sidles JA, Matsen FA. The relationship of the glenohumeral joint capsule to the rotator cuff. Clin Orthop Relat Res. 1990(254):29-34.

29. Kolts I, Busch LC, Tomusk H, Raudheiding A, Eller A, Merila M, et al. Macroscopical anatomy of the so-called "rotator interval". A cadaver study on 19 shoulder joints. *Ann Anat.* 2002;184(1):9-14.
30. Moseley HF, Goldie I. The Arterial Pattern of the Rotator Cuff of the Shoulder. *The Journal of bone and joint surgery British volume.* 1963;45:780-9.
31. Rothman RH, Parke WW. The vascular anatomy of the rotator cuff. *Clinical orthopaedics and related research.* 1965;41:176-86.
32. Ploetz E. Funktioneller Bau und funktionelle Anpassung der Gleitsehnen ; Mit 14 Abb. Stuttgart: Hoffmann; 1937. 27 S. 8" p.
33. Gohlke F, Barthel T, Wirth CJ. *Schulter : 97 Tabellen.* Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2002. XIV, 674 S. p.
34. Hedtmann A. Weichteilerkrankungen der Schulter - Subakromialsyndrome. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2009;4(02):85-106.
35. Tempelhof S, Rupp S, Seil R. Age-related prevalence of rotator cuff tears in asymptomatic shoulders. *J Shoulder Elbow Surg.* 1999;8(4):296-9.
36. Ogata S, Uthoff HK. Acromial enthesopathy and rotator cuff tear. A radiologic and histologic postmortem investigation of the coracoacromial arch. *Clin Orthop Relat Res.* 1990(254):39-48.
37. Reilly P, Macleod I, Macfarlane R, Windley J, Emery RJ. Dead men and radiologists don't lie: a review of cadaveric and radiological studies of rotator cuff tear prevalence. *Annals of the Royal College of Surgeons of England.* 2006;88(2):116-21.
38. Uthoff HK, Sano H. Pathology of failure of the rotator cuff tendon. *Orthop Clin North Am.* 1997;28(1):31-41.
39. Neer CS, 2nd. Anterior acromioplasty for the chronic impingement syndrome in the shoulder. 1972. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(6):1399.
40. Neer CS, 2nd. Impingement lesions. *Clin Orthop Relat Res.* 1983(173):70-7.
41. Neer CS, 2nd, Craig EV, Fukuda H. Cuff-tear arthropathy. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(9):1232-44.
42. Tillmann B, Schünke M, Rödecker K. Struktur der Supraspinatusansatzsehne. *Anat Anz.* 1992;172:83 - 4.
43. Riley GP, Harrall RL, Constant CR, Chard MD, Cawston TE, Hazleman BL. Glycosaminoglycans of human rotator cuff tendons: changes with age and in chronic rotator cuff tendinitis. *Annals of the rheumatic diseases.* 1994;53(6):367-76.
44. Jozsa L, Reffy A, Balint JB. The pathogenesis of tendolipomatosis; an electron microscopical study. *International orthopaedics.* 1984;7(4):251-5.

45. Hashimoto T, Nobuhara K, Hamada T. Pathologic evidence of degeneration as a primary cause of rotator cuff tear. *Clinical orthopaedics and related research*. 2003(415):111-20.
46. Uhthoff HK, Loehr JW. Calcific Tendinopathy of the Rotator Cuff: Pathogenesis, Diagnosis, and Management. *J Am Acad Orthop Surg*. 1997;5(4):183-91.
47. Rechberger D. Mechanismus und Entstehung der Rotatorenmanschettenruptur [Diplomarbeit]: Medizinischen Universität Graz; 2011.
48. Zuckerman JD, Kummer FJ, Cuomo F, Simon J, Rosenblum S, Katz N. The influence of coracoacromial arch anatomy on rotator cuff tears. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]*. 1992;1(1):4-14.
49. Chang EY, Moses DA, Babb JS, Schweitzer ME. Shoulder impingement: objective 3D shape analysis of acromial morphologic features. *Radiology*. 2006;239(2):497-505.
50. Meyer AW. Chronic functional lesions of the shoulder. *Archives of Surgery*. 1937;35(4):646-74.
51. Neer CS. *Shoulder reconstruction*. Philadelphia: Saunders; 1990. xi, 551 p. p.
52. Nirschl RP. Rotator cuff tendinitis: basic concepts of pathoetiology. *Instr Course Lect*. 1989;38:439-45.
53. Bateman JE. The Diagnosis and Treatment of Ruptures of the Rotator Cuff. *Surg Clin North Am*. 1963;43:1523-30.
54. Goutallier D, Postel J-M, Bernageau J, Lavau L, Voisin M-C. *La dégénérescence graisseuse des muscles des coiffes tendineuses rompues de l'épaule*. Paris, FRANCE: Expansion scientifique française; 1995.
55. Spalteholz W. *Über das Durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen Präparaten und seine theoretischen Bedingungen, nebst Anhang: Über Knochenfärbung*. Leipzig: S. Hirzel; 1914.
56. Ohtani O, Ushiki T, Taguchi T, Kikuta A. Collagen fibrillar networks as skeletal frameworks: a demonstration by cell-maceration/scanning electron microscope method. *Arch Histol Cytol*. 1988;51(3):249-61.
57. Ruotolo C, Fow JE, Nottage WM. The supraspinatus footprint: an anatomic study of the supraspinatus insertion. *Arthroscopy*. 2004;20(3):246-9.
58. Dugas JR, Campbell DA, Warren RF, Robie BH, Millett PJ. Anatomy and dimensions of rotator cuff insertions. *Journal of shoulder and elbow surgery / American Shoulder and Elbow Surgeons [et al]*. 2002;11(5):498-503.
59. Tierney J, Curtis A, Kowalik D, Scheller A. The footprints of the rotator cuff. *Arthroscopy*. 1999;15:556-7.

60. Wolff J. Das Gesetz der Transformation der inneren Architektur der Knochen bei pathologischen Veränderungen der äusseren Knochenform. Berlin: Reichsdruckerei; 1884. 22 p., 1 leaf of plates p.
61. Wolff J. Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin,: Hirschwald; 1892. xii, 152 p. p.
62. Pauwels F. [A new theory on the influence of mechanical stimuli on the differentiation of supporting tissue. The tenth contribution to the functional anatomy and causal morphology of the supporting structure]. Zeitschrift fur Anatomie und Entwicklungsgeschichte. 1960;121:478-515.
63. Jerosch J, Muller T, Castro WH. The incidence of rotator cuff rupture. An anatomic study. Acta Orthop Belg. 1991;57(2):124-9.
64. Lehman C, Cuomo F, Kummer FJ, Zuckerman JD. The incidence of full thickness rotator cuff tears in a large cadaveric population. Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, NY)). 1995;54(1):30-1.
65. De Palma AF. Surgery of the shoulder. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott; 1983. xx, 716 p. p.
66. Ogata S, Uthoff HK. The early development and ossification of the human clavicle--an embryologic study. Acta Orthop Scand. 1990;61(4):330-4.
67. Harryman DT, 2nd, Mack LA, Wang KY, Jackins SE, Richardson ML, Matsen FA, 3rd. Repairs of the rotator cuff. Correlation of functional results with integrity of the cuff. J Bone Joint Surg Am. 1991;73(7):982-9.
68. Gartsman GM, Khan M, Hammerman SM. Arthroscopic repair of full-thickness tears of the rotator cuff. J Bone Joint Surg Am. 1998;80(6):832-40.
69. Blevins FT, Warren RF, Cavo C, Altchek DW, Dines D, Palletta G, et al. Arthroscopic assisted rotator cuff repair: results using a mini-open deltoid splitting approach. Arthroscopy. 1996;12(1):50-9.
70. DePalma AF. Surgery of the shoulder. 2nd ed ed. Philadelphia: Lippincott; 1973. 19, 551 S p.
71. McLaughlin HL. Rupture of the Rotator Cuff. The Journal of Bone & Joint Surgery. 1962;44(5):979-83.
72. Itoi E, Minagawa H, Sato T, Sato K, Tabata S. Isokinetic strength after tears of the supraspinatus tendon. J Bone Joint Surg Br. 1997;79(1):77-82.
73. Tuite MJ, Turnbull JR, Orwin JF. Anterior versus posterior, and rim-erent rotator cuff tears: prevalence and MR sensitivity. Skeletal Radiol. 1998;27(5):237-43.
74. Katzer A, Wening JV, Becker-Mannich HU, Lorke DE, Jungbluth KH. [Rotator cuff rupture. Vascular supply and collagen fiber processes as pathogenetic factors]. Unfallchirurgie. 1997;23(2):52-9.

75. Löhner JF, Uthoff HK. The microvascular pattern of the supraspinatus tendon. *Clinical orthopaedics and related research*. 1990(254):35-8.
76. Rathbun JB, Macnab I. The microvascular pattern of the rotator cuff. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1970;52(3):540-53.
77. Determe D, Rongieres M, Kany J, Glasson JM, Bellumore Y, Mansat M, et al. Anatomic study of the tendinous rotator cuff of the shoulder. *Surg Radiol Anat*. 1996;18(3):195-200.
78. Tsutsui H. [Anatomical investigation of arterial distribution and clinical application of selective angiography of the shoulder joint]. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi*. 1986;60(4):401-14.
79. Brooks CH, Revell WJ, Heatley FW. A quantitative histological study of the vascularity of the rotator cuff tendon. *The Journal of bone and joint surgery British volume*. 1992;74(1):151-3.
80. Ling SC, Chen CF, Wan RX. A study on the vascular supply of the supraspinatus tendon. *Surg Radiol Anat*. 1990;12(3):161-5.
81. Macnab I. [Pathology of the so-called rotator cuff tendinitis]. *Orthopade*. 1981;10(3):191-5.
82. Tillmann B, Gehrke T. *Funktionelle Anatomie des subakromialen Raumes*. Berlin: Springer; 1995. p. 209 - 18 p.
83. Fallon J, Blevins FT, Vogel K, Trotter J. Functional morphology of the supraspinatus tendon. *J Orthop Res*. 2002;20(5):920-6.
84. Kask K, Kolts I, Lubienski A, Russlies M, Leibecke T, Busch LC. Magnetic resonance imaging and correlative gross anatomy of the ligamentum semicirculare humeri (rotator cable). *Clin Anat*. 2008;21(5):420-6.
85. Burkhart SS. Fluoroscopic comparison of kinematic patterns in massive rotator cuff tears. A suspension bridge model. *Clin Orthop Relat Res*. 1992(284):144-52.
86. Halder AM, O'Driscoll SW, Heers G, Mura N, Zobitz ME, An KN, et al. Biomechanical comparison of effects of supraspinatus tendon detachments, tendon defects, and muscle retractions. *J Bone Joint Surg Am*. 2002;84-A(5):780-5.
87. Macarini L, Muscarella S, Lelario M, Stoppino L, Scalzo G, Scelzi A, et al. Rotator cable at MR imaging: considerations on morphological aspects and biomechanical role. *Radiol Med*. 2011;116(1):102-13.

## 7. Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Dr. Michael Schünke bedanken, der mich nicht nur im Rahmen dieser Dissertation bestens betreut hat, sondern mir das freundliche Team und die nötigen Mittel zur Verfügung gestellt und meine Ideen und Vorschläge umfassend und produktiv unterstützt hat.

Den Direktoren des Anatomischen Instituts, Herrn Prof. Dr. Sievers, Herrn Prof. Dr. Dr. Schünke und Herrn Prof. Dr. Lucius danke ich für die freundliche Aufnahme, die angenehme Zusammenarbeit und das hervorragende Arbeitsklima.

Des Weiteren danke ich Herrn Dr. Heinz Laprell aus der Lubinus-Klinik für Unfallchirurgie in Kiel für die wegweisende Einführung in die wissenschaftliche und praktische Schulterchirurgie und für seine fachlichen Anregungen.

Herrn Prof. Dr. Bodo Kurz bin ich dankbar dafür, dass er mich bei der Gestaltung und dem Abschluss dieser Arbeit unterstützte.

Ich möchte mich auch bei den Präparatoren und technischen Angestellten des Anatomischen Instituts bedanken. Speziell erwähnen möchte ich an dieser Stelle Herrn Günther-Rudolf Klaws und Frau Stefanie Gundlach für die Einführung in die makroskopische Präparationstechnik und Methodik, Frau Rita Kirsch für die Unterstützung bei der Herstellung histologischer Präparate, Herrn Frank Lichte bei der Herstellung und Bearbeitung rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Clemens Franke für die Unterstützung bei der Erstellung der Illustrationen und Herrn Otfried Frandsen für seine umfangreiche Hilfe im EDV-Bereich.

Für die konstruktive Manuskriptkorrektur bedanke ich mich besonders bei Frau Dr. Kirsten Hattermann, Herrn Dr. Patrick Maronna und Frau Christiane Bärthel.

Zu guter Letzt danke ich meiner Familie dafür, dass sie mir das Studium der Zahn- und Humanmedizin ermöglicht und mich in jeglicher Hinsicht und zu jeder Zeit unterstützt hat.

## 8. Lebenslauf

### **PERSÖNLICHE ANGABEN**

---

Name	Ali Shakery Tehrany
Geburtstag	29.04.1978
Geburtsort	Teheran/Iran
Staatsangehörigkeit	deutsch-iranisch
Familienstand	ledig

### **SCHULAUSBILDUNG**

---

1992 - 1996	Gymnasium, Abschluss : Abitur (Teheran-Iran)
1989 - 1992	Orientierungsschule
1984 - 1989	Grundschule

### **STUDIUM**

---

1996 - 2001	Studium des Bauingenieurwesens an der International Imam-Khomeini Universität (IKIU) – Qazvin/Iran Abschluss : Bachelor Bauingenieur
Sommersemester 2003	Studium des Bauingenieurwesens Universität Essen
2003 - 2009	Studium der Zahnmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
September 2004	Naturwissenschaftliche Vorprüfung, Prädikat : „gut“
Oktober 2006	Zahnärztliche Vorprüfung, Prädikat „sehr gut“
Juli 2009	Zahnärztliche Prüfung (Staatsexamen), Prädikat „gut“
2005 - 2013	Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
März 2008	Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung, Prädikat „gut“
Dezember 2012	Ärztliche Prüfung (Staatsexamen), Prädikat „gut“

### **STIPENDIUM**

---

2007 - 2012	Stipendiat der Friedrich-Ebert-Stiftung
-------------	---



## **BERUFLICHE TÄTIGKEIT**

2000 - 2002	Angestellter bei Know-How Consulting Engineers Teheran Schwerpunkt: Bauwerk Entwurf, Baukostenberechnung
Januar 2010-Juni 2013	Beschäftigung als wissenschaftlicher Angestellter in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Dr. Michael Schünke, Anatomisches Institut Kiel
Seit 01.06.2013	Beschäftigung als Assistenzarzt für Mund, Kiefer und Gesichtschirurgie am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (UKSH), Campus Lübeck, Klinik für Kiefer- und Gesichtschirurgie

## **VORTRAG**

Norddeutsche Röntgengesellschaft und Röntgengesellschaft von Niedersachsen, Bremen und Sachsen-Anhalt  
Gemeinsame Jahrestagung, Hamburg (2012):  
Impulsreferat–Anatomie der ligamentären und glenoidalen Strukturen der Schulter  
Impulsreferat Anatomie–Bandstrukturen des Hüftgelenkes