

Aus der Abteilung Orthopädie  
(Prof. Dr. med. W. Schultz)  
im Zentrum Chirurgie  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

---

**Vergleich des Sehnen-Knochen-Kontaktes von  
single - und double-row-Technik  
mit unterschiedlichen Nahttechniken**

INAUGURAL- DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizinischen Fakultät  
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Anna Kathrin Fischer

aus

Hannover

Göttingen 2013

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

I. Berichterstatter: PD Dr. med. M. H. Baums

II. Berichterstatter/in: PD Dr. med. C. Dumont

Tag der mündlichen Prüfung: 03. Dezember 2013

# Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS .....	I
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	III
TABELLENVERZEICHNIS.....	V
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VI
<b>1</b> <b>EINLEITUNG</b> .....	<b>7</b>
1.1    EPIDEMIOLOGIE UND ÄTIOLOGIE DER ROTATORENMANSCHETTENRUPTUR.....	8
1.2    ANATOMIE UND FUNKTION DER ROTATORENMANSCHETTE .....	9
1.3    ANAMNESE UND KLINISCHE UNTERSUCHUNG .....	11
1.4    BILDGEBENDE DIAGNOSTIK .....	12
1.4.1 <i>Sonographie des Schultergelenkes</i> .....	13
1.4.2 <i>Magnetresonanztomographie des Schultergelenkes</i> .....	14
1.5    KLASSIFIKATION DER ROTATORENMANSCHETTENRUPTUR.....	15
1.6    THERAPIE.....	17
1.6.1 <i>Konservative Therapie</i> .....	17
1.6.2 <i>Operative Therapie</i> .....	18
1.6.3 <i>Operationstechnik</i> .....	21
1.6.4 <i>Offene Rekonstruktion</i> .....	21
1.6.5 <i>Mini-open Operation</i> .....	22
1.6.6 <i>Arthroskopische Rekonstruktion</i> .....	22
1.6.7 <i>Transossäre Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion</i> .....	23
1.6.8 <i>Single-row-Technik</i> .....	24
1.6.9 <i>Double-row-Technik (footprint repair)</i> .....	24
1.6.10 <i>Nahttechniken</i> .....	26
1.6.11 <i>Nachbehandlung</i> .....	27
1.7    FRAGESTELLUNG DER ARBEIT .....	28
1.8    ZIELSETZUNG UND HYPOTHESE .....	28
<b>2</b> <b>MATERIALIEN UND METHODEN</b> .....	<b>30</b>
2.1    MATERIALIEN .....	30
2.1.1 <i>Fadenankersystem</i> .....	30
2.1.2 <i>Das Schafschulterpräparat</i> .....	31

2.1.3	<i>Druckmessfolien</i> .....	32
2.2	VERSUCHSVORBEREITUNG .....	34
2.3	PRÄPARATION .....	36
2.4	VERSUCHSGRUPPEN .....	38
2.5	VERSUCHSABLAUF.....	43
2.6	STATISTIK.....	48
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>49</b>
3.1	SINGLE-ROW-TECHNIK, EINFACHE DURCHSTICHTNAHT (GRUPPE 1).....	49
3.2	SINGLE-ROW-TECHNIK, HORIZONTALE MATRATZENNAHT (GRUPPE 2) .....	50
3.3	SINGLE-ROW-TECHNIK, ARTHROSKOPISCHE MASON-ALLEN-NAHT (GRUPPE 3).....	50
3.4	DOUBLE-ROW-TECHNIK, EINFACHE DURCHSTICHTNAHT KOMBINIERT MIT HORIZONTALER MATRATZENNAHT (GRUPPE 4).....	50
3.5	DOUBLE-ROW-TECHNIK, HORIZONTALE MATRATZENNAHT KOMBINIERT MIT ARTHROSKOPISCHER MASON-ALLEN-NAHT (GRUPPE 5).....	51
3.6	INTERPRETATION DER ERGEBNISSE.....	52
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>56</b>
<b>5</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG: PUBLIKATION</b> .....	<b>75</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>81</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: A+B Anatomie der Rotatorenmanschette .....	7
Abb. 2: Bewegungsumfang des Schultergelenkes anhand der Neutral-Null-Methode.....	10
Abb. 3: Sonographie des Schultergelenkes.....	13
Abb. 4: MRT des Schultergelenkes .....	14
Abb. 5: Einteilung der RM-Ruptur nach Snyder .....	16
Abb. 6: Grad der Sehnenretraktion.....	20
Abb. 7: Offen chirurgische transossäre Nahttechnik .....	22
Abb. 8: Nahttechnik mit Fadenankersystem nach Scheibel und Habermeyer .....	23
Abb. 9: Illustrative Darstellung der unterschiedlichen Nahttechniken.....	25
Abb. 10: Schematische Darstellung der arthroskopischen Mason-Allen-Naht .....	26
Abb. 11: Schematische Darstellung der offen chirurgischen Mason-Allen-Naht .....	27
Abb. 12: Nicht resorbierbares Fadenankersystem aus Titan der Stärke 5mm.....	30
Abb. 13: Der M. infraspinatus des Schafes mit Sehne.....	32
Abb. 14: Schematische Darstellung des Druckmessfoliensystems.....	33
Abb. 15: Prescale Pressure Densitometer.....	34
Abb. 16: Darstellung des Insertionsareal in der Single-row-Technik .....	35
Abb. 17: Darstellung des Insertionsareal in der Double-row-Technik .....	35
Abb. 18: Das anatomische Insertionsareal der ISP-Sehne nach Ablösung der Sehne.....	37
Abb. 19: Single-row-Technik, einfache Durchstichnaht (Gruppe 1) .....	38
Abb. 20: Single-row-Technik, horizontale Matratzennaht (Gruppe 2) .....	39
Abb. 21: Single-row-Technik, arthroskopische Mason-Allen-Naht (Gruppe 3).....	40
Abb. 22: Double-row-Technik, einfache Durchstichnaht (lateral) kombiniert mit horizontaler Matratzennaht (medial) (Gruppe 4) .....	41
Abb. 23: Double-row-Technik, horizontale Matratzennaht (medial) kombiniert mit arthroskopischer Mason-Allen-Naht (lateral) (Gruppe 5) .....	42
Abb. 24: Die ISP- Sehne wird vorsichtig vom Insertionsareal gelöst.....	44
Abb. 25: Darstellung des Insertionsareals und Platzierung der Fadenankersysteme .....	45
Abb. 26: Präparat nach Rekonstruktion der ISP-Sehne in Double-row-Technik .....	45
Abb. 27: Zusammenfassendes Schema der Versuchsvorbereitung und Durchführung.....	47
Abb. 28: Druckverteilung der untersuchten Reparaturtechniken. ....	52

Abb. 29: Ergebnisse der Studie anhand eines Balkendiagramms mit Darstellung der Standardabweichung.....	54
Abb. 30: Typisches Kontaktdruckmuster .....	55
Abb. 31: Die vier Zonen der Sehnen-Knochen-Verbindung .....	60
Abb. 32: Suture-bridge-Technik.....	69

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Einteilung der Rotatorenmanschettenruptur nach Pathogenese (Neer und Poppen 1987)	16
Tabelle 2:	Einteilung der Rotatorenmanschetten-Partialruptur nach Ellman (1990)	16
Tabelle 3:	Einteilung der kompletten Ruptur der Rotatorenmanschette nach Bateman (1963)	17
Tabelle 4:	Zusammenfassung der gemessenen Drücke in Megapascal (MPa)	49

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANOVA	Analysis Of Variance
ISP	Infraspinatus
M.	Musculus
MPa	Mega Pascal
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Newton
N.	Nervus
RM	Rotatorenmanschette
S.	Seite
SSP	Supraspinatus
Tab.	Tabelle
Tub	Tuberculum



# 1 Einleitung

Rupturen der Rotatorenmanschette (RM) stellen eine häufige Ursache für Schmerzen und Funktionsdefizite des Schultergelenkes dar. Werden die Rupturen nicht rechtzeitig weitestgehend anatomisch korrekt refixiert, drohen Atrophie und Degeneration des Gewebes (Yamanaka und Matsumoto 1994). Schmerzhaftige Bewegungseinschränkung, Kraftminderung und Instabilität des Schultergelenkes resultieren.

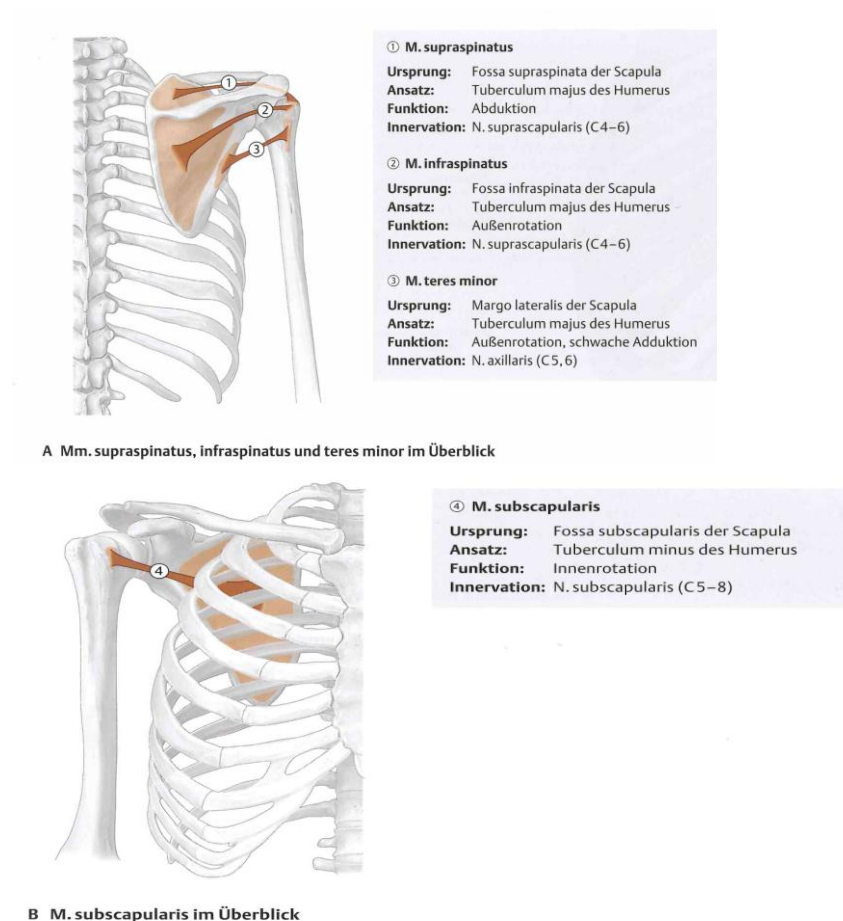


Abb. 1: A+B Anatomie der Rotatorenmanschette (Schünke et al. 2005, S. 297)

Minimal-invasive bzw. arthroskopische Verfahren spielen zunehmend eine Rolle für die Rekonstruktion der RM. Neue

Rekonstruktionstechniken unter der Verwendung von Fadenankersystemen wurden hierfür entwickelt. Kürzere Phasen der Immobilität und eine zunehmende Früh-Rehabilitation stellen dabei immer höhere Ansprüche an die Stabilität der primären Naht und der sicheren Verankerung des Fadenankersystems.

Es existieren viele unterschiedliche Modelle von Nahtsystemen und Nahtmaterialien. Allen gemeinsam ist jedoch eine weiterhin bestehende hohe Rate der Rerupturen (Cummins und Murell 2003, Boileau et al. 2005, Galatz et al. 2004).

### **1.1 Epidemiologie und Ätiologie der Rotatorenmanschettenruptur**

Die Prävalenz der RM-Ruptur liegt bei 39% in der Gesamtbevölkerung. Bei über Sechzigjährigen liegt sie sogar bei bis zu 55% (Ozaki et al. 1988). Pathogenetisch unterscheidet man zwischen traumatischen und atraumatischen, im Wesentlichen degenerativen Ursachen.

Nebelung und Wiedemann (2002) definieren vier verschiedene Ursachen für die Entstehung einer RM-Ruptur:

1. Die **primäre Degeneration** der Sehnenfasern durch altersbedingten Verschleiß.
2. Das so genannte **Outlet-Impingement**, bei dem es zu einer Einengung der Sehnenfasern im Subakromialraum kommt. Knochenvorsprünge am Schulterdach tragen zusätzlich zu einer Abnutzung und Degeneration der Sehnen bei.
3. Die traumatische **Schulterluxation**, bei der es zu einer Zerreißung der RM kommen kann.

4. Bei maximaler Abduktion und Außenrotation kann es am inneren Ansatzbereich der Supraspinatussehne (SSP-Sehne) und der Infraspinatussehne (ISP-Sehne) zu einer Scherbelastung am dorsokranialen Glenoid kommen. Dieses so genannte **Innere Impingement** wird verstärkt, wenn die Gelenkkapsel bereits durch repetitive Mikrotraumen dilatiert ist. Dies ist häufig bei Überkopfsportlern der Fall.

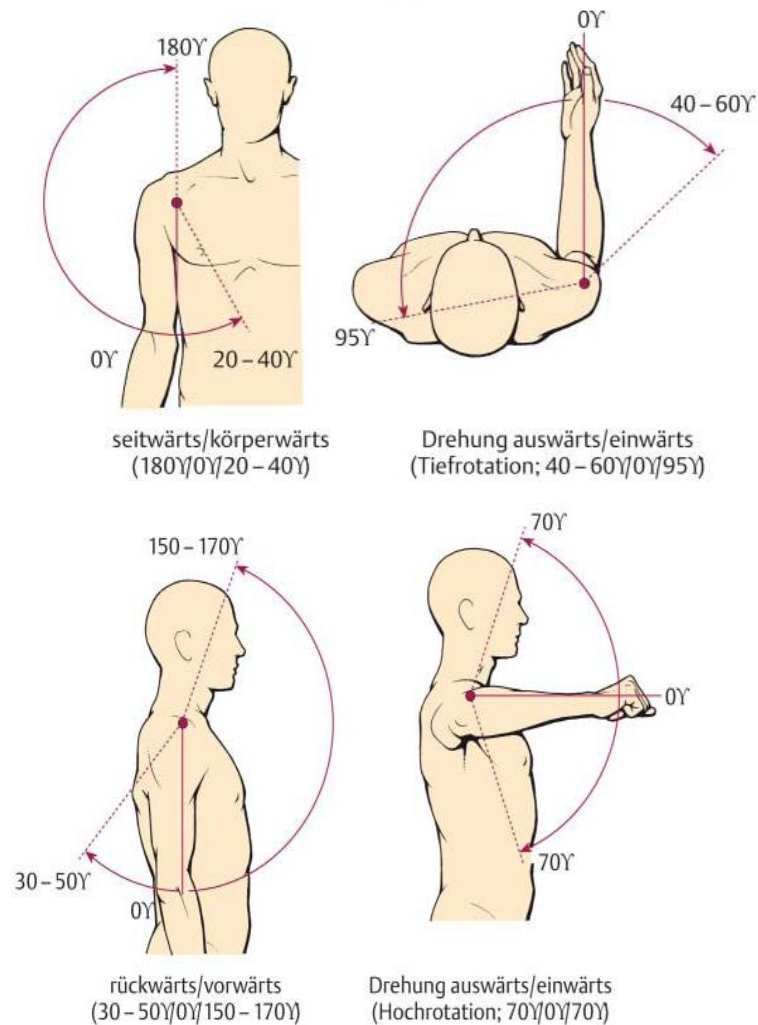
Rupturen der SSP- und der ISP-Sehne haben in 50% der Fälle eine atraumatische Genese, während isolierte Subskapularisläsionen in bis zu 70% traumatisch bedingt sind (Habermeyer 2002).

Bei bis zu 63% der traumatischen Schulterluxationen kann es zusätzlich zu Rupturen der RM kommen (Habermeyer 2002). Zudem gibt es prädisponierende Lokalisationen für Rupturen der Sehnen. So findet man bei der SSP-Sehne eine avaskuläre Zone, ca. 0,5-1 cm proximal des Sehnenansatzes. An dieser Stelle wird die Sehne der größten Druckbelastung durch den Humeruskopf ausgesetzt, wodurch es zu einer metaplastischen Umformung des Sehnengewebes kommen kann (Wiedemann et al. 2004).

## **1.2 Anatomie und Funktion der Rotatorenmanschette**

Das Schultergelenk des Menschen setzt sich aus dem kugeligen Gelenkkopf am proximalen Humerus sowie der flachen Cavitas glenoidalis der Scapula zusammen. Durch die geringe Knochenführung hat das Gelenk einen großen Freiheitsgrad, der sich sowohl aus

Extension/Flexion als auch Abduktion/Adduktion und rotierenden Bewegungen zusammensetzt (Abb. 2).



**Abb. 2: Bewegungsumfang des Schultergelenkes anhand der Neutral-Null-Methode (Niethard et al. 2009, S. 19)**

Die Stabilität des Gelenkes wird durch ein System aus Muskeln, Sehnen und Bändern gewährleistet. Eine Schlüsselrolle spielt die RM (Abb. 1), die aus den Sehnen des M. subscapularis, des M. supraspinatus, des M. infraspinatus und des M. teres minor gebildet wird (Amüller et al. 2007).

Eine wichtige Funktion der RM besteht neben der aktiven Bewegung des Schultergelenkes in der Zentrierung des Humeruskopfes in der flachen Cavitas glenoidalis. Dies wird deutlich, wenn der Arm abduziert wird. Hierbei droht der Humeruskopf durch Zug des M. deltoideus nach kranial zu luxieren. Der M. teres minor, der M. infraspinatus sowie der M. subscapularis gleichen mit ihren von kaudal kommenden Fasern den Zug des M. deltoideus aus. Ein Teil der Muskelfasern setzt darüber hinaus zur weiteren Gelenkstabilisierung an der Gelenkkapsel an und verhindert so als „Kapselspanner“, dass Kapselanteile zwischen den beiden Gelenkkörpern eingeklemmt werden (Amüller et al. 2007).

Der M. biceps brachii (Caput breve und Caput longum) gehört zwar per definitionem nicht zur RM. Die Anteile sind dennoch für die Stabilität des Schultergelenkes unverzichtbar. Sie sorgen mit ihren fast parallel zum Humerus verlaufenden Fasern dafür, dass sie gemeinsam mit dem M. deltoideus das Caput humeri gegen Zug am Arm (z.B. Anheben von Gewichten) in der Pfanne halten (Amüller et al. 2007).

### **1.3 Anamnese und klinische Untersuchung**

Typische Symptome einer defekten RM sind eine schmerzhafteste Bewegungseinschränkung, Kraftminderung und Instabilität des Schultergelenkes. Ursache und Dauer der Beschwerden geben Hinweise auf eine traumatische oder atraumatische Genese.

Bereits durchgeführte diagnostische und therapeutische Maßnahmen sollten dokumentiert werden. In der klinischen Untersuchung werden durch Inspektion und Palpation Muskelatrophien

und Druckschmerzpunkte der Schulter erfasst. Eine Pathologie der Halswirbelsäule sollte differentialdiagnostisch ausgeschlossen werden.

Aktive und passive Bewegungsumfänge werden gemäß der Neutral-Null-Methode bestimmt. Bei dieser Messmethode werden alle Gelenkbewegungen von einer einheitlich definierten Null-Stellung ausgehend dokumentiert (Abb. 2).

Das so genannte Impingement-Syndrom ist eine wichtige Differentialdiagnose zur eigentlichen RM-Ruptur. Es ist geprägt durch degenerative Veränderungen, Einklemmung von Kapselanteilen oder Sehnenmaterial mit einer vergleichbaren Beschwerdesymptomatik. In solch einem Fall äußern die Patienten häufig Schmerzen bei aktiver Abduktion zwischen 60° und 120° (so genannter „Painful Arc“). Passive Bewegungen sind hingegen häufig schmerzfrei (Habermeyer 2002). Zur Differenzierung der Rupturlokalisierung werden spezielle RM-Tests durchgeführt und die Kraftentfaltung der einzelnen Muskeln geprüft. Schwächen können neurogen, strukturell oder reflektorisch bedingt sein (Habermeyer 2002).

#### **1.4 Bildgebende Diagnostik**

Zur Diagnostik der RM-Ruptur werden die Sonographie, das konventionelle Röntgen und die Magnetresonanztomographie (MRT) verwendet.

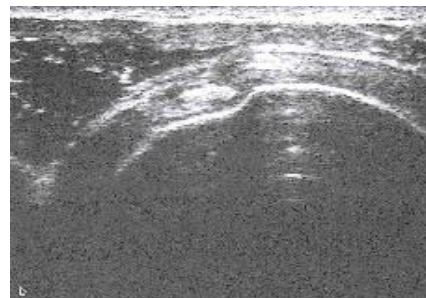
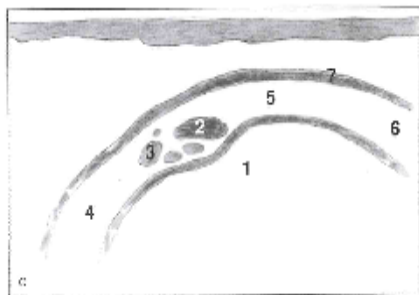
Durch das konventionelle Röntgen können knöcherne Ausrisse und artikuläre Begleitverletzungen ausgeschlossen werden. In den letzten Jahren hat sich jedoch die MRT als Goldstandard für die Diagnostik der RM-Ruptur durchgesetzt.

### 1.4.1 Sonographie des Schultergelenkes

Die Sonographie des Schultergelenkes gehört zur Primärdiagnostik bei Verdacht auf Verletzungen oder Erkrankungen des Schultergelenkes (Abb. 3). Dabei ist eine dynamische Untersuchung obligat, bei der auch kleinere Läsionen erkannt werden können. Ein Fehlen der Sehnenstruktur, eine Veränderung der Sehnenform oder ein fehlendes Mitbewegen der Sehnen im Rahmen der dynamischen Untersuchung werden als

sicheres Zeichen für eine RM-Ruptur gewertet (Habermeyer 2002).

Vorteile der Sonographie sind die schnell verfügbare, kostengünstige Diagnostik sowie die Untersuchung ohne Strahlenbelastung.



**Bild 1**

**Bild 2**

Abb. 3: Sonographie des Schultergelenkes

**Bild 1:** Schematische Abbildung eines Sonographiebildes der Schulter 1=

Humeruskopf, 2= lange Bizepssehne, 3= Lig. Glenohumerale medium,

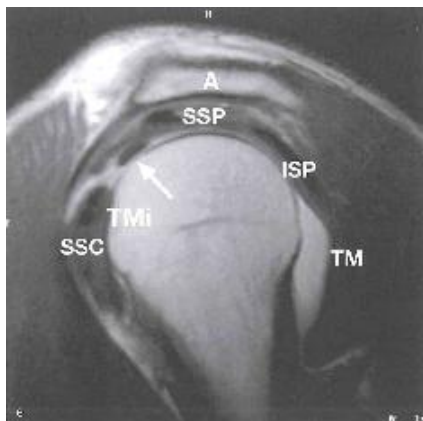
4= Subskapularissehne, 5= SSP-Sehne, 6= ISP-Sehne, 7= Bursa coracobrachialis

**Bild 2:** korrespondierendes Sonographiebild (Habermeyer 2002, S. 131)

### 1.4.2 Magnetresonanztomographie des Schultergelenkes

Die Magnetresonanztomographie hat eine entscheidende Bedeutung für die Abklärung von Beschwerden des Schultergelenkes und der RM gewonnen.

Die bekannten Vorteile der MRT liegen im hohen Weichteilkontrast bei guter räumlicher Auflösung (Habermeyer 2002). Die MRT ermöglicht eine Darstellung der Pathologien mit hoher Spezifität und Sensibilität (Abb. 4). Neben dem Nachweis der Ruptur erlaubt die MRT eine Einschätzung der fettigen, degenerativen Veränderungen wie Atrophien der Muskulatur und des Grades der Retraktion der Sehne (Nakajima et al. 1994). Bei einer Retraktion zieht sich eine Sehne von ihrer Insertion in Richtung Muskelbauch zurück.



**Abb. 4: MRT des Schultergelenkes**

Schräg sagittales Bild einer MR-Arthrographie in T1-Wichtung auf Höhe des Rotatorenintervalles:(A) Akromion, (SSP) Sehne der Mm supraspinatus, (ISP) infraspinatus, (SSC) subscapularis, (TM) Teres minor, (Pfeil) intraartikulärer Anteil der langen Bizeps-Sehne, (TMi) Tuberculum minus (Habermeyer 2002, S. 107)

Als Atrophie bezeichnet man die Abnahme des Muskelquerschnitts, die fettige Degeneration stellt die Erhöhung des Fettanteiles im noch



erhaltenen Muskel dar (Fuchs et al. 1999, Goutallier et al. 1994). Beide Aspekte sind Hauptrisikofaktoren für eine erneute Ruptur nach operativer Rekonstruktion der Sehne.

Noch nicht ganz entschieden ist die Diskussion um den Wert der direkten MR-Arthrographie. Es handelt es sich um ein Verfahren, bei dem Kontrastmittel intraartikulär injiziert wird. Ihre Anwendung ist besonders zur Detektion kleiner, partieller RM-Läsionen sowie zur Darstellung des Labrum glenoidale und der Gelenkkapsel hilfreich (Habermeier 2002).

### **1.5 Klassifikation der Rotatorenmanschettenruptur**

In der Literatur findet man Einteilungen der RM-Ruptur nach Lokalisation, Größe und Art. Die Einteilung nach Habermeier (2002) teilt die RM-Ruptur nach Lokalisation von ventral nach dorsal in drei Zonen ein:

- **Zone A:** ventrale Abschnitte mit Subscapularissehne, Rotatorenintervall und langer Bizepssehne
- **Zone B:** kraniale Abschnitte mit SSP-Sehne
- **Zone C:** dorsale Abschnitte mit der Sehne des M. infraspinatus und des M. teres minor

Die Verlängerungslinie der Spina scapulae trennt Zone B von Zone C.

Eine weitere Einteilung nach Neer und Poppen (1987) klassifiziert die Rupturen nach ihrer Pathogenese (Tab. 1). Ellman (1990) teilt Partialrupturen nach dem Durchmesser des abgerissenen Sehnenanteils ein (Tab. 2). Bateman (1963) klassifiziert komplette Rupturen nach ihrer

Größe (Tab. 3). Snyder (Abb. 5) publizierte eine Klassifikation, die die Partialrupturen nach Lokalisation zum Gelenk definiert (Snyder 1993).

Klassifikation der RM-Ruptur nach Snyder

- Klasse A: artikularseitige Ruptur
- Klasse B: bursaseitige Ruptur
- Klasse C: komplette Ruptur

**Abb. 5: Einteilung der RM-Ruptur nach Snyder (1993)**

Gruppe 1	Traumatische Rupturen häufig repetitive Mikrotraumen, Patienten häufig älter als 40 Jahre (ca. 5% der Rupturen)
Gruppe 2	Kombination mit Schulterluxation
Typ A	Vordere Luxation mit hinterem Mechanismus
Typ B	Multidirektionale Instabilität bei anlagebedingter Spaltbildung zwischen M. subscapularis und M. supraspinatus
Typ C	Massives Schultertrauma mit Ausriss der RM und Plexusläsion
Gruppe 3	Rupturen, die sich sekundär nach Supraspinatus-outlet-Syndrom entwickeln

**Tab. 1: Einteilung der RM-Ruptur nach Pathogenese (Neer und Poppen 1987)**

Grad 1	Durchmesser <1/4 od. < 3mm
Grad 2	Durchmesser <1/2 od. 3-6mm
Grad 3	Durchmesser <1/2 od. 3-6mm

**Tab. 2: Einteilung der Partialruptur nach Ellman (1990)**

Grad 1	< 1cm
Grad 2	1-3 cm
Grad 3	3-5 cm
Grad 4	> 5 cm

**Tab. 3: Einteilung der kompletten Ruptur der Rotatorenmanschette nach Bateman (1963)**

## **1.6 Therapie**

Therapeutisch existieren neben einer Vielzahl konservativer Maßnahmen Möglichkeiten der operativen Therapie zur Rekonstruktion der RM.

### **1.6.1 Konservative Therapie**

Indikation für eine konservative Therapie ist ein langsamer Beginn der Symptomatik. Dies deutet auf eine degenerative, atraumatische Genese hin. Für einen inaktiven Patienten oder bei fehlender Compliance ist zunächst eine konservative Therapie anzustreben. Auch bei einer begleitenden Einsteifung des Schultergelenkes, einer so genannten Frozen Shoulder, sollte zunächst auf eine operative Versorgung verzichtet werden (Habermeyer 2002).

Die klassische konservative Therapie nach Rookwood besteht aus 3 Phasen und wird von Habermeyer (2002) wie folgt favorisiert:

- **Erste Phase:** analgetische und antiphlogistische Therapie.  
Bei Bedarf kann eine Ergänzung durch Steroidinjektionen erfolgen.
- **Zweite Phase:** muskulärer Aufbau.  
Es wird eine Verbesserung der Kompression und somit der Stabilität des Humeruskopfes in der Pfanne angestrebt.
- **Dritte Phase:** stufenweise und spezifische Belastungssteigerung.  
Das Ziel ist ein Wiedererlangen von arbeits- und sportspezifischen Bewegungen.

Bokor et al. (1993) beschreiben jedoch persistierende Muskelatrophien bei 56% und persistierende Schwächen bei 94% der Patienten nach konservativer Therapie. Eine operative Rekonstruktion der RM ist demnach bei einem Großteil der Patienten erstrebenswert.

### **1.6.2 Operative Therapie**

Die erste operative Versorgung einer RM-Ruptur erfolgte durch Müller im Jahr 1898. Durch eine operative Refixation der Sehne an ihrem Ursprung kann eine Optimierung der Funktion des Schultergelenkes mit Schmerzfreiheit und Erhalt der Mobilität erzielt werden (Galatz et al. 2004).

Absolute Indikationen für eine operative Versorgung sind traumatische Rupturen der Subscapularissehne und Sehnenrisse bei traumatischen Schulterluxationen (Habermeier 2002). Zudem sollten akute, traumatisch bedingte Rupturen, insbesondere bei Patienten im

erwerbsfähigen Alter, operativ versorgt werden. Dies gilt umso mehr, wenn keine wesentlichen Vorschädigungen der Sehnen bestehen.

Absolute Kontraindikationen für eine Operation sind eine Schultergelenkinfektion, eine Läsion des Plexus brachialis mit Beteiligung der Nervenwurzel C5/C6, eine Defektarthropathie, eine Omarthrose und ein acromio-humeraler Abstand von weniger als 5 mm.

Relative Kontraindikationen sind eine begleitende Frozen shoulder, eine Muskelatrophie Grad 4, eine Sehnenretraktion Grad 3 und ein acromio-humeraler Abstand zwischen 5mm und 7mm (Habermeyer 2002).

Der Retraktionsgrad lässt sich nach Patte (1990) einteilen und ist ein wichtiger prognostischer Faktor (Abb. 6).



**Grad I:** der rupturierte Sehnenstumpf liegt zwischen Tuberculum majus und Apex humeri



**Grad II:** Sehnenstumpf liegt zwischen Apex humeri und Glenoidrand



**Grad III:** Sehnenstumpf liegt proximal des Glenoidrandes

**Abb. 6: Grad der Sehnenretraktion**

(Patte 1990, S. 81-86)

Der wichtigste prädiktive Wert für das Operationsergebnis ist jedoch die Qualität des Sehngewebes. Eine verminderte Qualität ist durch einen fragilen, zottigen Rand mit gelenkseitiger Ausdünnung gekennzeichnet. Intratendinöse Rupturen sprechen ebenfalls für ein fragiles Sehngewebe (Habermeyer 2002).

Auch der Zeitpunkt der operativen Versorgung beeinflusst das Langzeitergebnis, sie sollte bei traumatischen Rupturen innerhalb der ersten sechs Wochen durchgeführt werden.

Die Dauer der Anamnese von mehr als sechs Monaten spricht für eine zunehmende Sehndegeneration mit der Folge eines schlechten Operationsergebnisses (Bassett und Cofield 1983).

Eine Operation in der primär akuten Schmerzphase sollte jedoch vermieden werden. Durch eine in dieser Periode vermehrte Proteinaseaktivität kann es zur Ausbildung einer Arthrofibrose und somit zur Einsteifung des Gelenkes kommen (Habermeyer 2002).

Ausnahmen stellen Patienten mit Rupturen der Subskapularissehne dar. Hier sollte so früh als möglich operiert werden, da die Gefahr einer dauerhaften Schulterinstabilität besteht (Deutsch et al. 1997).

Die Rupturgröße und das Alter des Patienten sind weitere prognostische Faktoren (Cofield et al. 2001).

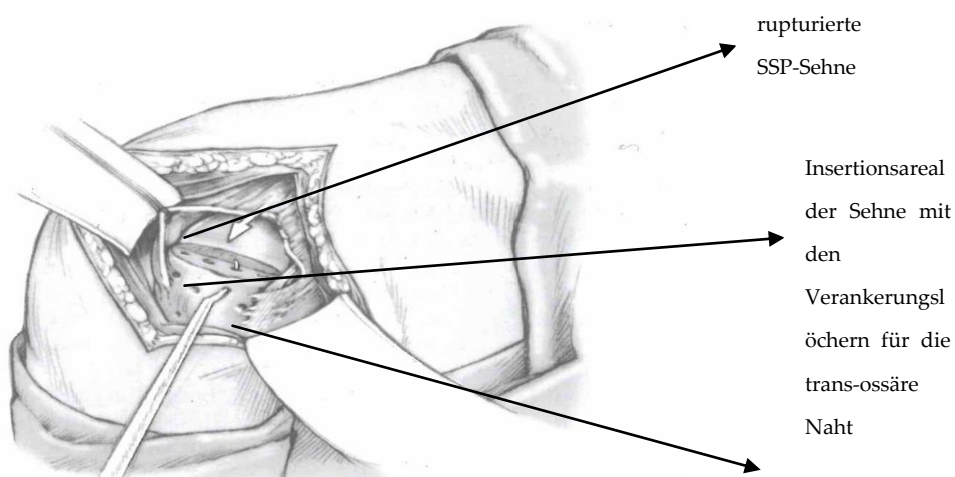
### 1.6.3 Operationstechnik

Die operative Versorgung der RM-Ruptur kann durch eine klassische offene Operation, eine so genannte „mini-open repair“, oder in arthroskopischer Technik erfolgen.

Für die Refixation des Sehnenstumpfes am Knochen wird grundsätzlich zwischen transossärer Nahttechnik und der Verwendung von Fadenankersystemen unterschieden (Habermeyer 2002).

### 1.6.4 Offene Rekonstruktion

Für die offene Rekonstruktion der RM muss zunächst der M. deltoideus vom Akromion gelöst werden. Mittels transossärer Naht (Abb. 7) oder Fadenankersystemen wird die Sehne wieder am Knochen fixiert. Bei der offenen Operation können komplexe Nahttechniken zur Rekonstruktion angewendet werden.



Caput humeri

**Abb. 7: Offen chirurgische transossäre Nahttechnik**  
(Habermeyer 2002, S. 350)

### **1.6.5 Mini-open Operation**

Bei der sog. „mini-open“ Operation findet zunächst eine diagnostische Arthroskopie des Gelenkes statt. Anschließend wird über einen kleinen Zugang im M. deltoideus (ca. 3 - 4 cm) die operative Refixation der Sehne durchgeführt. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass eine Ablösung des M. deltoideus vom Akromion unterbleibt und vorher die Riss-Situation arthroskopisch exakt beurteilt werden kann.

### **1.6.6 Arthroskopische Rekonstruktion**

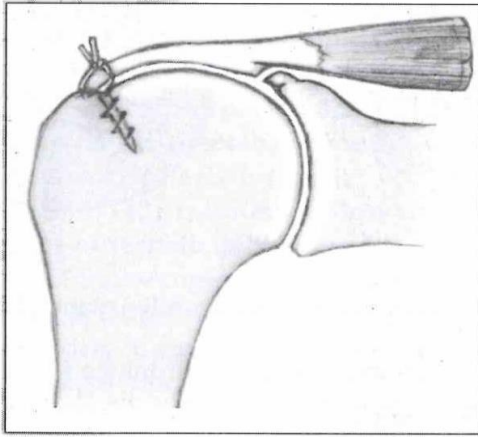
Der Vorteil der arthroskopischen Rekonstruktion der RM liegt in der nur minimalen Weichteilalteration. Der M. deltoideus wird im Gegensatz zur offenen Operation weitestgehend geschont.

Bei der Arthroskopie kann die Ausdehnung der Läsion ideal beurteilt werden. Diagnostik und Therapie können somit in einem Verfahren vereint werden (Nebelung und Wiedemann 2002). Zur arthroskopischen Rekonstruktion werden Fadenankersysteme verwendet (Abb. 8).

Ein Nachteil des arthroskopischen Verfahrens besteht darin, dass es sich um ein komplexes und zeitaufwendiges Verfahren handelt, denn gerade die Mobilisation retrahierter Sehnen ist technisch anspruchsvoll (Nebelung und Wiedemann 2002).



Im Vergleich zur offenen Operation können aufgrund der räumlichen Enge oft nur einfache Nahttechniken verwendet werden.



**Abb. 8: Nahttechnik mit Fadenankersystem nach Scheibel und Habermeyer  
(Habermeyer 2002, S. 351)**

#### **1.6.7 Transossäre Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion**

Bei der transossären Rekonstruktion wird der Faden durch den Knochen gezogen und so die Sehne am Insertionsareal fixiert (Abb. 9). Hierbei werden zunächst mittels Bohrer transossäre Verankerungslöcher angelegt, durch die Fäden gezogen werden (Abb. 7). Dadurch kann die Wiederherstellung der Verbindung zwischen Sehne und Knochen erfolgen. Die in dieser Form oft verwendete transossäre Mason-Allen-Nahttechnik gilt als eine stabile Rekonstruktion (Schneeberger et al. 2002).

Der Nachteil besteht jedoch darin, dass diese Technik aufgrund ihrer Komplexität nicht bei arthroskopischen Rekonstruktionen angewendet werden kann.

### **1.6.8 Single-row-Technik**

Die single-row-Technik ist eine Variante der RM-Rekonstruktion mit Fadenankersystemen.

Bei dieser Methode können ein oder mehrere Fadenankersysteme in einer Reihe in das Insertionsareal der Sehne am Humerus eingebracht werden (Abb. 9). Die Fadenankersysteme sind mit einem Fadenpaar armiert und ermöglichen, mit unterschiedlichen Nahttechniken versehen, eine Wiederherstellung des Kontaktes der Sehne mit dem Knochen.

Diese Technik stellt arthroskopisch angewandt mittlerweile eine Standardmethode in der Rekonstruktion der Rotatorenmanschettenruptur dar (Cummins und Murell 2003, Mazzocca et al. 2005).

Sonographie- und MRT-Untersuchungen zeigen allerdings, dass erneute Rupturen nach Anwendung der single-row-Technik, gerade bei vorbestehenden großen Sehnenrissen, in 76 % bis 94 % auftreten können (Boileau et al. 2005, Galatz et al. 2004).

### **1.6.9 Double-row-Technik (footprint repair)**

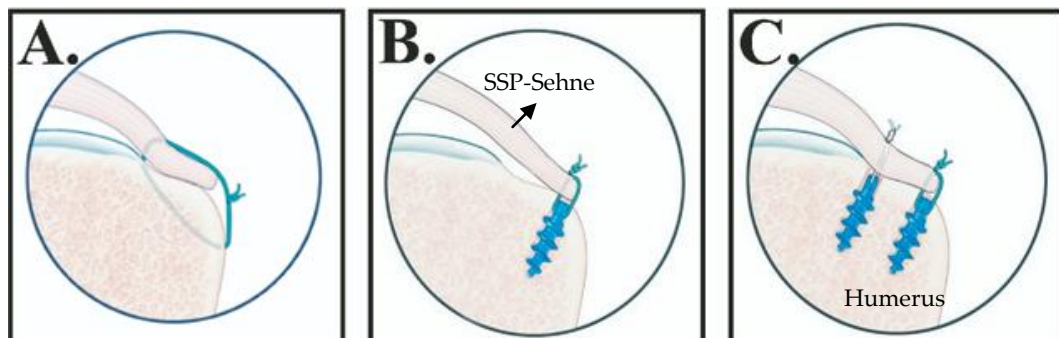
Bei einer gesunden Sehnen-Knochen-Verbindung ist das Ansatzareal der Sehne vollständig mit ihrem Insertionsareal am Knochen verwachsen. Mutmaßlich sind auch die Druckverhältnisse gleichmäßig verteilt. Somit liegt eine stabile Verbindung zwischen Sehne und Knochen vor.

Die so genannte „footprint-repair“, in der double-row-Technik angewandt, soll diese anatomische Struktur der Knochen-Sehnen-Verbindung rekonstruieren (Fealy et al. 2002). Ziel ist es, durch diese Technik eine möglichst exakte Rekonstruktion des Insertionsareals der Sehne am Knochen herzustellen.

In der double-row-Technik können in Abhängigkeit der Rissgröße vier oder mehr Nahtankersysteme in zwei Reihen parallel zueinander in

das Insertionsareal am Humerus eingebracht werden. Dabei sollte eine Reihe am osteochondralen Übergang eingebracht werden, die zweite im Bereich des Tuberculum majus humeri (Abb. 9).

Diese Technik kann ebenfalls arthroskopisch angewendet werden. Es wird vermutet, dass die Wiederherstellung der Anatomie der Sehnen-Knochen-Verbindung ein wichtiger Faktor ist, um den Heilungsprozess zu optimieren (Apreleva et al. 2002). Dabei ist es das Ziel, die Größe der Sehnen-Knochen-Verbindung am Insertionsareal zu fast 100% wiederherzustellen (Apreleva et al. 2002).



**Abb. 9: Illustrative Darstellung der unterschiedlichen Nahttechniken**

**A.: transossäre Nahttechnik**

**B.: single-row Nahttechnik**

**C: double-row Nahttechnik**

**(modifiziert nach Meier und Meier 2006, S. 1169)**

### 1.6.10 Nahttechniken

Eine „optimale“ Naht ermöglicht es der Sehne, regelrecht zu heilen. Eine Strangulation des Gewebes sollte vermieden werden, andererseits darf es zu keinem „Herausrutschen“ der Sehne aus der Naht kommen. Bei arthroskopischen Rekonstruktionen mit Fadenankersystemen werden im klinischen Alltag häufig die einfache Durchstichnaht oder Matratzennaht verwendet.

Scheibel und Habermeyer haben 2003 die so genannte arthroskopische Mason-Allen-Naht entwickelt (Abb. 10). Es handelt sich um eine blockierende Naht, die aus der Kombination einer einfachen mit einer Matratzennaht besteht.

Die quer verlaufende Matratzennaht kann ein Herausrutschen der einfachen Naht verhindern und somit blockieren. Hierdurch soll ein Ausreißen des Fadens verhindert und eine höhere Zugfestigkeit erreicht werden (Scheibel und Habermeyer 2003).

Im Vergleich zur offen chirurgischen Mason-Allen-Naht wird bei der arthroskopischen Mason-Allen-Naht ein Fadenanker zur Befestigung im Knochen verwendet.

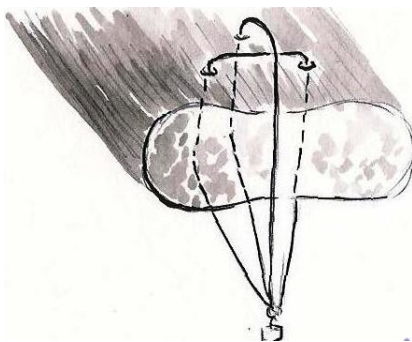


Abb. 10: Schematische Darstellung der arthroskopischen Mason-Allen-Naht

(Baums 2009, S. 14)

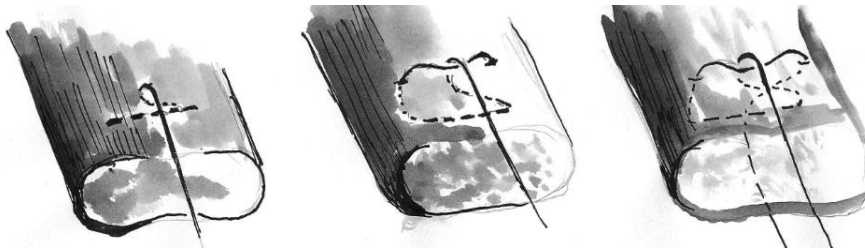


Abb. 11: Schematische Darstellung der offen chirurgischen Mason-Allen-Naht  
(Baums 2009, S. 13)

### 1.6.11 Nachbehandlung

Nach operativer Rekonstruktion der RM wird der Arm für vier bis teilweise sechs Wochen mit Hilfe eines Abspreizkissens gelagert. Es erfolgt eine an das Stadium der Heilung angepasste physiotherapeutische Behandlung für bis zu sechs Monate.

Eine hohe initiale Stabilität der Naht ist somit in der Nachbehandlung entscheidend. Je stabiler die Naht ist, desto früher kann das Gelenk mobilisiert werden und die Häufigkeit von Rerupturen kann verringert werden. Die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Muskelatrophie und einer Bewegungseinschränkung mit Einsteifung des Gelenkes lässt sich durch eine frühzeitige Rehabilitation ebenfalls reduzieren.

Zusammenfassend kann die Stabilität der RM-Rekonstruktion u.a. durch die verwendete Naht- als auch Rekonstruktionstechnik beeinflusst werden. Rerupturen gehören dabei immer noch zu den häufigsten Komplikation nach RM-Refixation (Boileau et al. 2005).

## **1.7 Fragestellung der Arbeit**

In einer Literaturrecherche konnten nur drei Arbeiten gefunden werden, die sich mit dem Kontaktdruck zwischen Sehne und Knochen am Insertionsareal nach RM-Rekonstruktionen beschäftigen (Tuoheti et al. 2005, Park et al. 2005, Park et al. 2007). Hier werden jedoch nur single-row-, double-row- und transossäre Techniken verglichen, ohne dass Varianten der Nahttechnik berücksichtigt werden.

Ein zu hoher Kontaktdruck zwischen Sehne und Knochen kann im schlimmsten Fall zu einer Nekrose der Sehne führen. Ist der Kontaktdruck zu niedrig, können Mikrobewegungen und eine Lückenbildung (engl. gap-formation) ein Anwachsen der Sehne verhindern. Die Frage, wie sich unterschiedliche Nahttechniken auf den Kontaktdruck am Insertionsareal auswirken, wurde bislang nicht geklärt.

## **1.8 Zielsetzung und Hypothese**

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem Einfluss von arthroskopischen Nahttechniken auf den initialen Kontaktdruck an einem definierten Insertionsareal des Humerus bei der RM-Rekonstruktion.

Ziel ist es, herauszuarbeiten, ob die double-row-Technik im Vergleich zur single-row-Technik den Kontaktdruck am Insertionsareal beeinflusst. Des Weiteren wird der Einfluss der arthroskopischen Mason-Allen-Naht auf den Kontaktdruck untersucht.

Entsprechend wurde folgende Hypothese aufgestellt:

Die arthroskopische Mason-Allen-Naht in der single-row-Technik erzeugt den gleichen Kontaktdruck am Insertionsareal wie die

arthroskopische Mason-Allen-Naht in Kombination mit der horizontalen Matratzennaht in der double-row-Technik.

## 2 Materialien und Methoden

### 2.1 Materialien

#### 2.1.1 Fadenankersystem

Fadenankersysteme werden hauptsächlich bei der arthroskopischen Rekonstruktion von Sehnen verwendet, da eine transossäre Naht aufgrund des verminderten Platzangebotes technisch nur schwer durchzuführen ist (Habermeier 2002).

Für die vorliegende Studie wurden handelsübliche, nicht resorbierbare, selbstschneidende Fadenankersysteme aus Titan der Stärke 5 mm verwendet (Abb. 12).



Abb. 12: Nicht resorbierbares Fadenankersystem aus Titan der Stärke 5mm  
(SuperRevo®, ConMed Linvatec, Largo, FL, USA)  
([http://www.conmed.com/products\\_superrevo.php](http://www.conmed.com/products_superrevo.php))



### **2.1.2 Das Schafschulterpräparat**

Für experimentelle Studien an der RM und dem Schultergelenk hat sich neben humanen Kadaverpräparaten das Schultergelenk des Schafes etabliert. Gerber et al. haben dieses Modell im Jahr 1994 erstmalig verwendet. Entscheidend sind die histologischen und strukturellen Ähnlichkeiten zwischen Schafschulter- und humanen Schultergelenken.

Dabei ähnelt die ISP-Sehne des Schafes (Abb. 13) der Supraspinatussehne des Menschen am meisten (France et al. 1989). Die Sehnen ähneln sich in Stärke und Breite. Die Stärke einer humanen SSP-Sehne liegt im Durchschnitt bei 3,93 mm, die der ISP-Sehne des Schafes bei 3,9 mm (Gerber et al. 1994).

Des Weiteren ist die Kraft, die angewandt werden muss, um die Sehnen vom Knochen zu lösen, ähnlich hoch. Diese liegt bei der ISP-Sehne des Schafes und bei der humanen SSP-Sehne bei ca. 2400 N (McFarland et al. 2005).

Die Versuche wurden mit 40 Schafschultergelenken von 20 im Mittel zwei Jahre alten Schafen durchgeführt. Die Gelenke wurden unmittelbar nach der Schlachtung vom Schlachthof Kassel bezogen und post mortem bei – 20° Celsius eingefroren.



Abb. 13: Der M. infraspinatus des Schafes mit Sehne

### 2.1.3 Druckmessfolien

Für die Messung des Druckes und der Druckverteilung zwischen der ISP-Sehne und dem Insertionspunkt wurden drucksensitive Folien (*Prescale Film, Super Low type, Fuji Photo Film Co Ltd., Tokyo, Japan*) verwendet.

Die Folien, die bei den Versuchen verwendet wurden, erfassen Drücke im Bereich von 0,5 bis 2,5 MPa. Dies ermöglicht das Druckmuster und den durchschnittlichen Gesamtdruck der unterschiedlichen Nahtsysteme darzustellen.

Der verwendete, sog. prescale Film besteht aus zwei Schichten (Abb. 14): einem A-Film und einem C-Film. Der A-Film besteht aus Färbematerial, welches sich in Mikrokapseln befindet. Dieses Färbematerial reagiert bei Druck mit dem C-Film (Farbentwickler). Dadurch wird rote Farbe auf dem Folienträger erzeugt. Die Farbdichte verändert sich mit dem einwirkenden Druckniveau. Somit können der Druck und die Druckverteilung einer Fläche bestimmt werden. Das Auflösungsvermögen der Folien beträgt 0,1 mm.

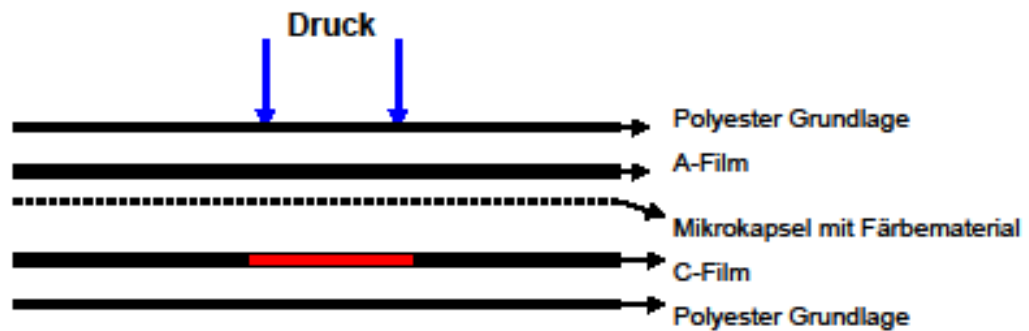


Abb. 14: Schematische Darstellung des Druckmessfoliensystems

In vorliegender Studie wurden folgende Geräte und Materialien verwendet:

- 40 Schafschultergelenke von im Mittel zwei Jahre alten Schafen
- isotone Kochsalzlösung
- Tiefkühlschrank mit ca.  $-20^{\circ}\text{C}$
- Skalpell zum Präparieren
- nicht resorbierbare, selbstschneidene Fadenankersysteme aus Titan der Stärke 5 mm  
(*SuperRevo®*, *ConMed Linvatec*, *Largo, FL, USA*)
- nicht resorbierbare, geflochtene Polyesterfäden der Stärke USP No.2 (*Ethibond®*, *Ethicon*, *Sommerville, NJ, USA*)
- Schablone des Insertionsareals der SSP-Sehne
- arthroskopische Instrumente  
(*Spectrum tissue repair system*, *ConMed Linvatec*, *Largo, FL USA*)
- drucksensitive Folien  
(*Prescale Film, super low type*, *Fuji Photo Film Co. Ltd.*, *Tokyo, Japan*)
- durchsichtige Polyethylen-Folie

- Prescale Pressure Densitometer (Abb. 15)  
(FDP-305E, Fuji Photo Film Co. Ltd., Tokyo, Japan).

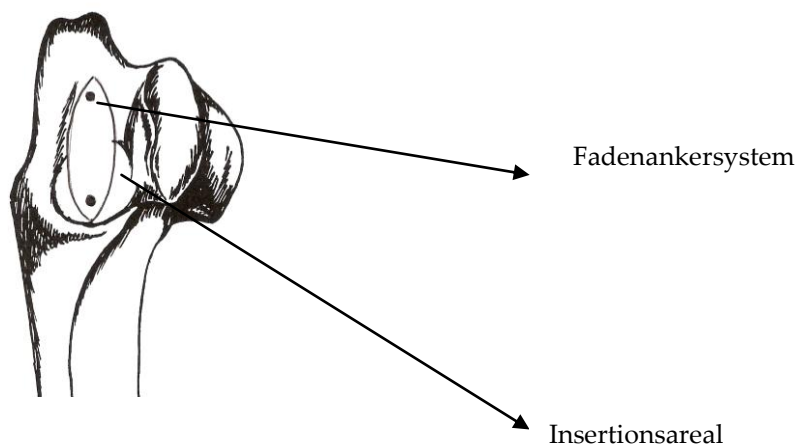


Abb. 15: Prescale Pressure Densitometer (Fuji Photo Film Co. Ltd., Tokyo, Japan)

## 2.2 Versuchsvorbereitung

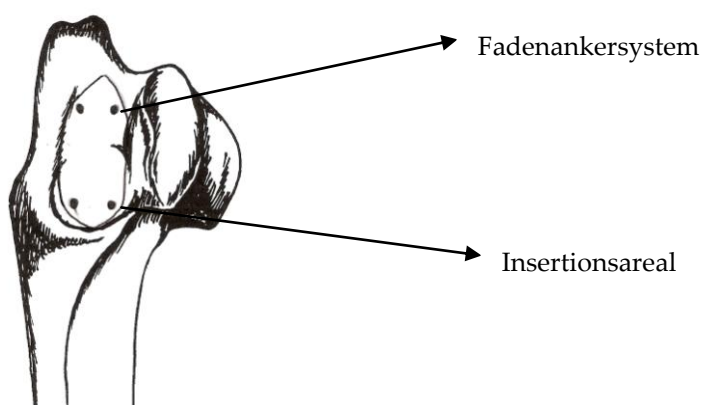
Linke und rechte Schultergelenke der Schafe wurden nach einer Power-Analyse randomisiert fünf Gruppen zugeteilt. Bei jeder Gruppe wurde eine andere Nahttechnik verwendet, um die Sehnen wieder am Insertionspunkt zu befestigen. In jeder Versuchsgruppe wurden dabei acht Präparate untersucht.

Bei den Versuchen wurden in der Gruppe 1 die einfache Durchstichnaht, in der Gruppe 2 die einfache Matratzennaht und in der Gruppe 3 die arthroskopische Mason-Allen-Naht jeweils in der single-row-Technik untersucht (Abb. 16).



**Abb. 16: Darstellung des Insertionsareal in der Single-row-Technik**

In der double-row-Technik wurde in Gruppe 4 die einfache Naht mit einer Matratzennaht kombiniert. In Gruppe 5 wurde die arthroskopische Mason-Allen-Naht mit einer Matratzennaht in der double-row-Technik angewendet (Abb. 17).



**Abb. 17: Darstellung des Insertionsareal in der Double-row-Technik**

### 2.3 Präparation

Für die Durchführung der Versuche wurden die Schultergelenke bei Raumtemperatur für 24 Stunden schonend aufgetaut. Sämtliches Weichteilgewebe (Unterhautfettgewebe, Muskulatur) wurde mit Ausnahme des M. infraspinatus und dessen Sehne entfernt.

Das Präparat bestand somit ausschließlich aus dem proximalen Humerus und dem M. infraspinatus sowie dessen Sehne. Die Schultern wurden auf Verletzungen und anatomische Besonderheiten untersucht. Präparate mit einer makroskopisch sichtbaren pathologischen Veränderung wurden nicht verwendet.

Um ein standardisiertes Einbringen der Fadenankersysteme in das Insertionsareal zu gewährleisten, wurde in einer Pilotstudie der Insertionspunkt der ISP-Sehne mit einem Messschieber ausgemessen und eine entsprechende Schablone angefertigt (Abb. 18). Die durchschnittliche Fläche des Insertionspunktes am Tuberculum majus humeri der Infraspinatussehne wurde auf 1x2 cm vermessen.

Die Druckfolien, die zwischen Knochen und Sehne fixiert wurden, mussten zunächst auf die Größe des Insertionsareals zugeschnitten werden. Um zu verhindern, dass die Folien während der Versuche feucht und somit die Versuchsergebnisse verfälscht werden, wurden sie mit einer durchsichtigen Polyethylenfolie abgedichtet. Anschließend wurde die Folie mit Hilfe der vorher angefertigten Schablone vorbereitet.

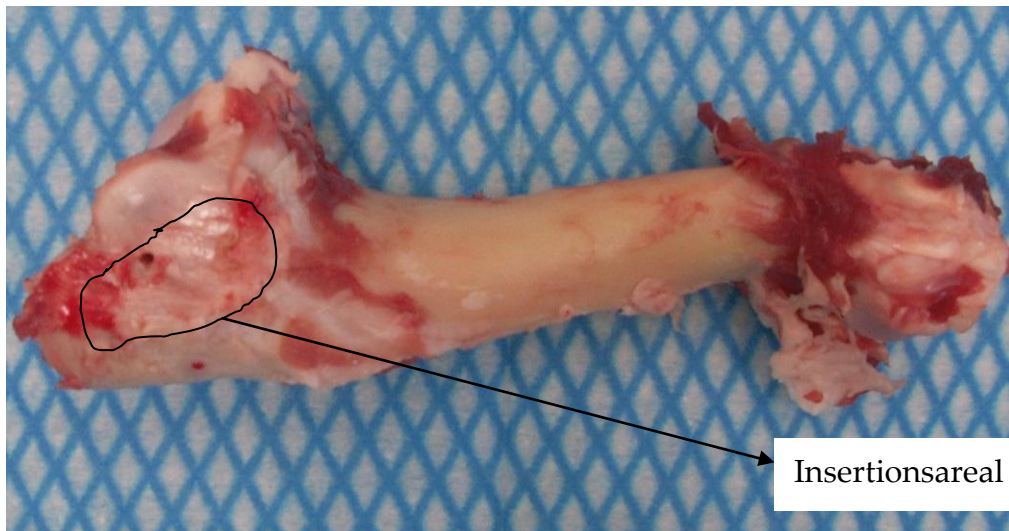
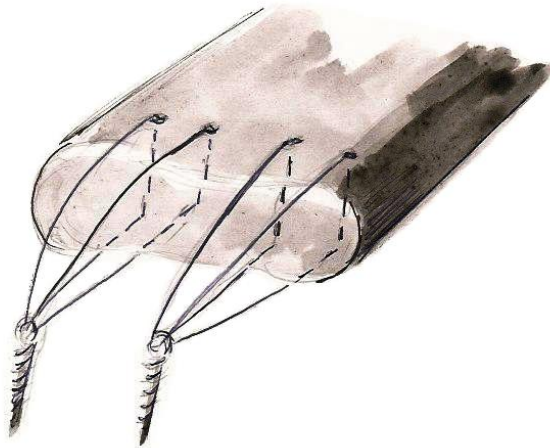


Abb. 18: Das anatomische Insertionsareal der ISP-Sehne nach Ablösung der Sehne

## 2.4 Versuchsgruppen

### Gruppe 1: Single-row-Technik, einfache Durchstichnaht

Hierbei handelt es sich um eine Nahttechnik, bei der eine einfache Durchstichnaht durch die Sehne erfolgt. Die zwei Fadenankersysteme werden im Humeruskopf im Insertionsareal der ISP-Sehne in einer Reihe verankert (Abb. 19).

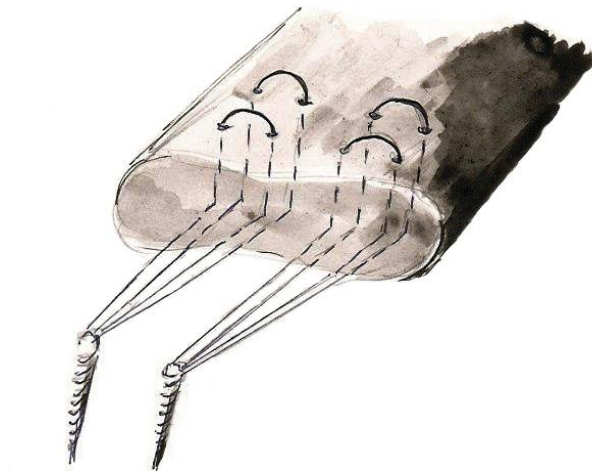


**Abb. 19: Single-row-Technik, einfache Durchstichnaht (Gruppe 1)**  
einfache Naht mit einer Reihe von zwei Fadenankersystemen, doppelt armiert mit zwei Ethibondfäden der Stärke USP No. 2  
(Baums et al. 2009, S. 1467)



**Gruppe 2: Single-row-Technik, horizontale Matratzennaht**

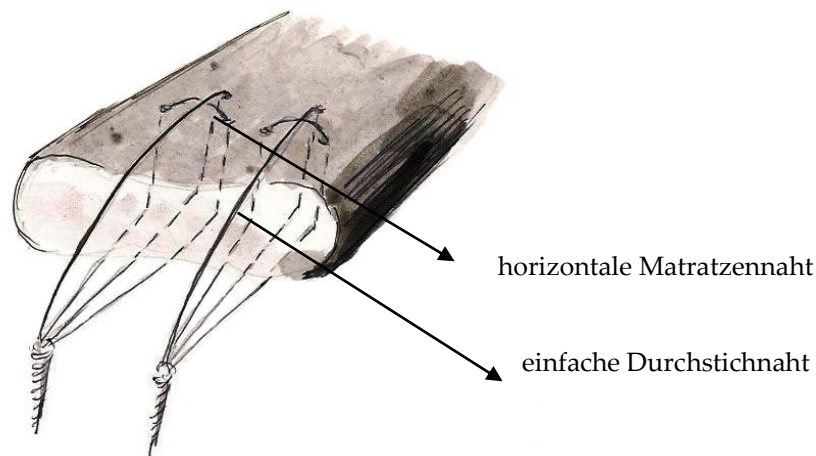
Hierbei handelt es sich um eine Nahttechnik, bei der die Sehne mit einer horizontalen Matratzennaht über eine Reihe von zwei Fadenankersystemen fixiert wird. Die zwei Fadenankersysteme werden im Humeruskopf im Insertionsareal der ISP-Sehne ebenfalls in einer Reihe verankert (Abb. 20).



**Abb. 20: Single-row-Technik, horizontale Matratzennaht (Gruppe 2)**  
horizontale Matratzennaht mit einer Reihe von zwei Fadenankersystemen,  
doppelt armiert mit zwei Ethibondfäden der Stärke USP No. 2  
(Baums et al. 2009, S. 1467)

**Gruppe 3:** Single-row-Technik, arthroskopische Mason-Allen-Naht

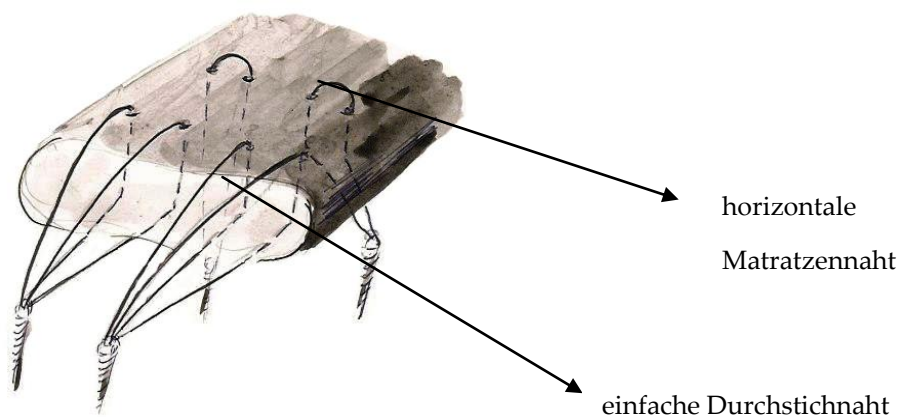
Bei der arthroskopischen Mason-Allen-Naht handelt es sich um die Kombination einer Matratzen- und einer einfachen Naht, die über einen Fadenanker armiert sind. Es handelt sich also um eine gekoppelte Nahttechnik. Die zwei Fadenankersysteme werden im Humeruskopf im Insertionsareal der ISP-Sehne entsprechend der single-row-Technik in einer Reihe verankert (Abb. 21).



**Abb. 21: Single-row-Technik, arthroskopische Mason-Allen-Naht (Gruppe 3)**  
arthroskopische Mason-Allen-Naht mit einer Reihen von zwei  
Fadenankersystemen, doppelt armiert mit zwei Ethibondfäden der Stärke USP  
No. 2  
(Baums et al. 2009, S. 1467)

**Gruppe 4:** Double-row-Technik, einfache Durchstichnaht kombiniert mit horizontaler Matratzennaht

Hierbei handelt es sich um eine Nahttechnik, bei der die Sehne medial an der Knorpel-Knochen-Grenze mit einer horizontalen Matratzennaht mit Hilfe von zwei Fadenankersystemen im Insertionsareal fixiert wird. Zudem erfolgt lateral davon eine einfache Durchstichnaht, die ebenfalls mit zwei Fadenankersystemen im Insertionsareal verankert wird. Bei der double-row-Technik werden also insgesamt vier Fadenankersysteme im Insertionsareal der ISP-Sehne verankert (Abb. 22).



**Abb. 22: Double-row-Technik, einfache Durchstichnaht (lateral) kombiniert mit horizontaler Matratzennaht (medial) (Gruppe 4)**

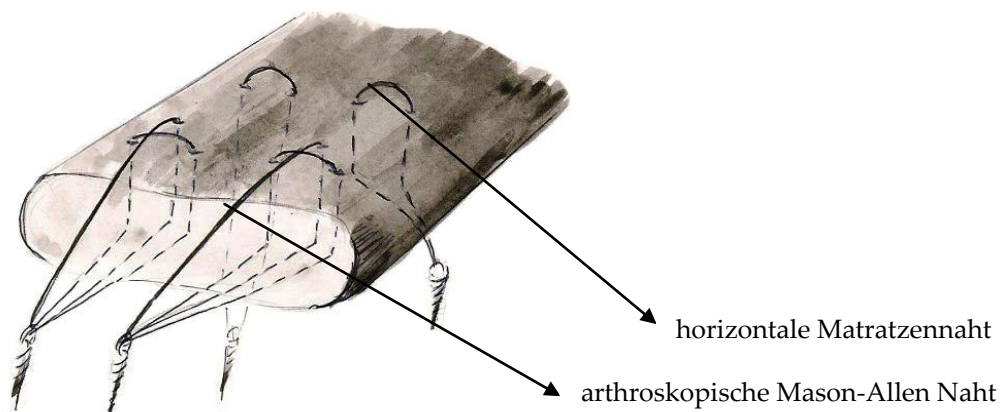
**lateral: einfache Durchstichnaht mit zwei Fadenankersystemen, doppelt armiert mit 2 Ethibondfäden der Stärke USP No. 2**

**medial: horizontale Matratzennaht mit zwei Fadenankersystemen, doppelt armiert mit 2 Ethibondfäden der Stärke USP No. 2**

**(Baums et al. 2009, S. 1467)**

**Gruppe 5:** Double-row-Technik, horizontale Matratzennaht kombiniert mit arthroskopischer Mason-Allen-Naht

Hierbei handelt es sich um eine Nahttechnik, bei der die Sehne medial mit einer horizontalen Matratzennaht mit Hilfe von zwei Fadenankersystemen im Insertionsareal fixiert wird. Zudem erfolgt lateral die Anlage einer arthroskopischen Mason-Allen-Naht, die ebenfalls mit zwei Fadenankersystemen im Insertionsareal verankert wird. Bei der double-row-Technik werden also insgesamt vier Fadenankersysteme im Insertionsareal der Infraspinatussehne verankert (Abb. 23).



**Abb. 23:** Double-row-Technik, horizontale Matratzennaht (medial) kombiniert mit arthroskopischer Mason-Allen-Naht (lateral) (Gruppe 5)

**lateral:** arthroskopische Mason-Allen-Naht mit zwei Fadenankersystemen, doppelt armiert mit 2 Ethibondfäden der Stärke USP No. 2

**medial:** horizontale Matratzennaht mit zwei Fadenankersystemen, doppelt armiert mit 2 Ethibondfäden der Stärke USP No. 2

(Baums et al. 2009, S. 1467)

## 2.5 Versuchsablauf

Die ISP-Sehne wurde mit einem Skalpell vorsichtig vom Knochen gelöst (Abb. 24). Dadurch wurde ein kompletter Ausriss der Sehne am Tuberculum majus humeri imitiert (Baums et al. 2008, Klinger et al. 2007).

Mit Hilfe der oben beschriebenen Schablone und einem Gewindebohrer wurden Löcher im Knochen angelegt und vorgebohrt (Abb. 25), um die Fadenankersysteme einzubringen (*nicht resorbierbare, selbstschneidende Fadenankersysteme aus Titan der Stärke 5 mm, SuperRevo®, ConMed Linvatec, Largo, FL, USA*). Sie wurden in einem Winkel von 45° im Knochen platziert (Burkhart 1995).

Über die Fadenankersysteme im Knochen wurde die vorbereitete Druckfolie gelegt und die Fäden sorgfältig durch die Löcher in der Folie gezogen. Anschließend wurde die Sehne in Abhängigkeit der Versuchsgruppe mit einer der fünf beschriebenen Nahttechniken am Knochen fixiert (Abb. 26). Nach der Befestigung wurde die Folie, wie vom Hersteller empfohlen, zwei Minuten lang in Position belassen, um eine verwertbare Färbung zu erreichen.

Danach wurden die Nähte vorsichtig aufgetrennt. Dabei wurde penibel darauf geachtet, nur die Fäden vorstichig mit einem Skalpell zu lösen und keinen zusätzlichen Druck auf die Folien auszuüben. Die Folien wurden sorgfältig mit einer Pinzette aus der Position gehoben. Die Pinzette wurde an eines der Löcher in der Folie positioniert, um durch das Halten keine Artefakte zu produzieren.

Schließlich wurden die Folien mit einem *Fuji Film Prescale Pressure Densitometer (FDP-305E, Fuji Photo Film Co Ltd)* gescannt (Abb. 16). Der durchschnittliche Druck und das Druckmuster wurden gespeichert.

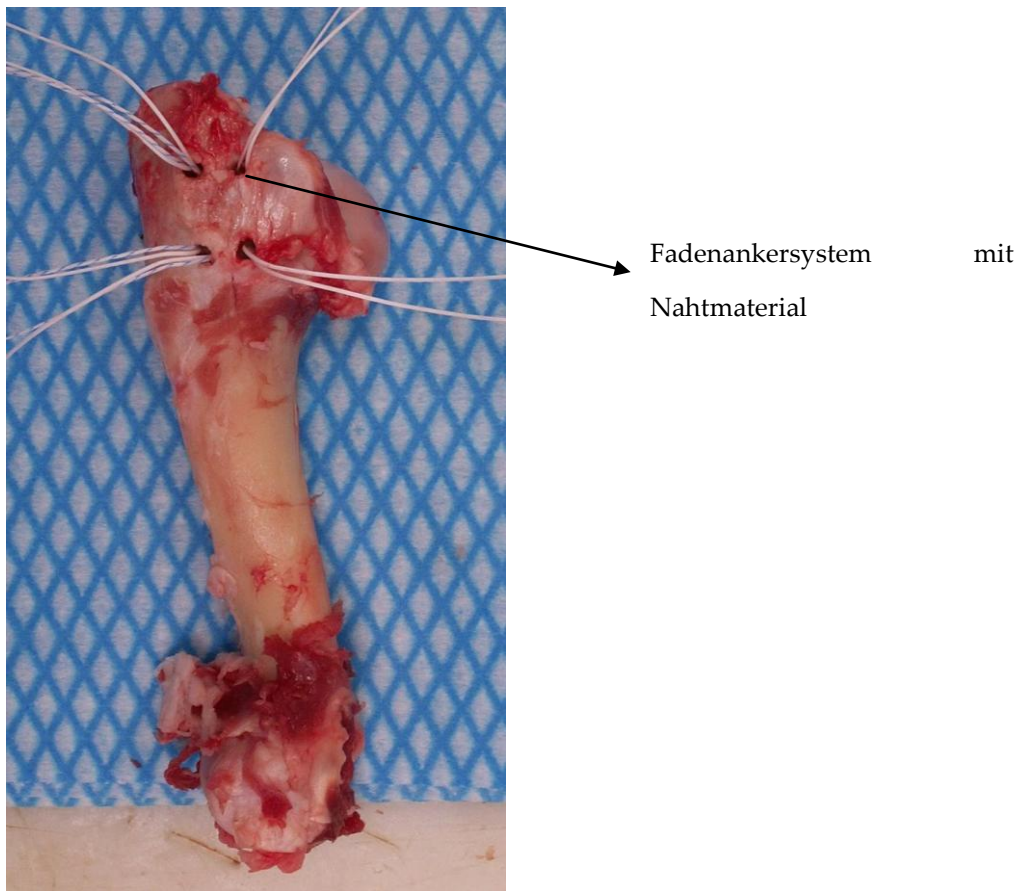
Um einen arthroskopischen Eingriff zu simulieren, wurden für die Platzierung der Fadenanker und für die Durchführung der Nähte

arthroskopische Instrumente verwendet (*Spectrum tissue repair system, ConMed Linvatec, Largo, Fl USA*).

Außerdem wurden ausschließlich arthroskopische Knotentechniken verwendet. Jeder Stich wurde zuerst mit einem chirurgischen Doppelknoten befestigt und mit vier gegenläufigen Halbschlägen gesichert. Um den Zug bei der Refixation zu standardisieren, wurde darauf geachtet, dass nicht weniger als 4 kg Zugkraft bei den Knoten angewandt wird. Dies wurde mittels eines Tensiometers überprüft.



**Abb. 24:** Die ISP- Sehne wird vorsichtig vom Insertionsareal gelöst



**Abb. 25: Darstellung des Insertionsareals und Platzierung der Fadenankersysteme in der Double-row-Technik**



**Abb. 26: Präparat nach Rekonstruktion der ISP-Sehne in Double-row-Technik**





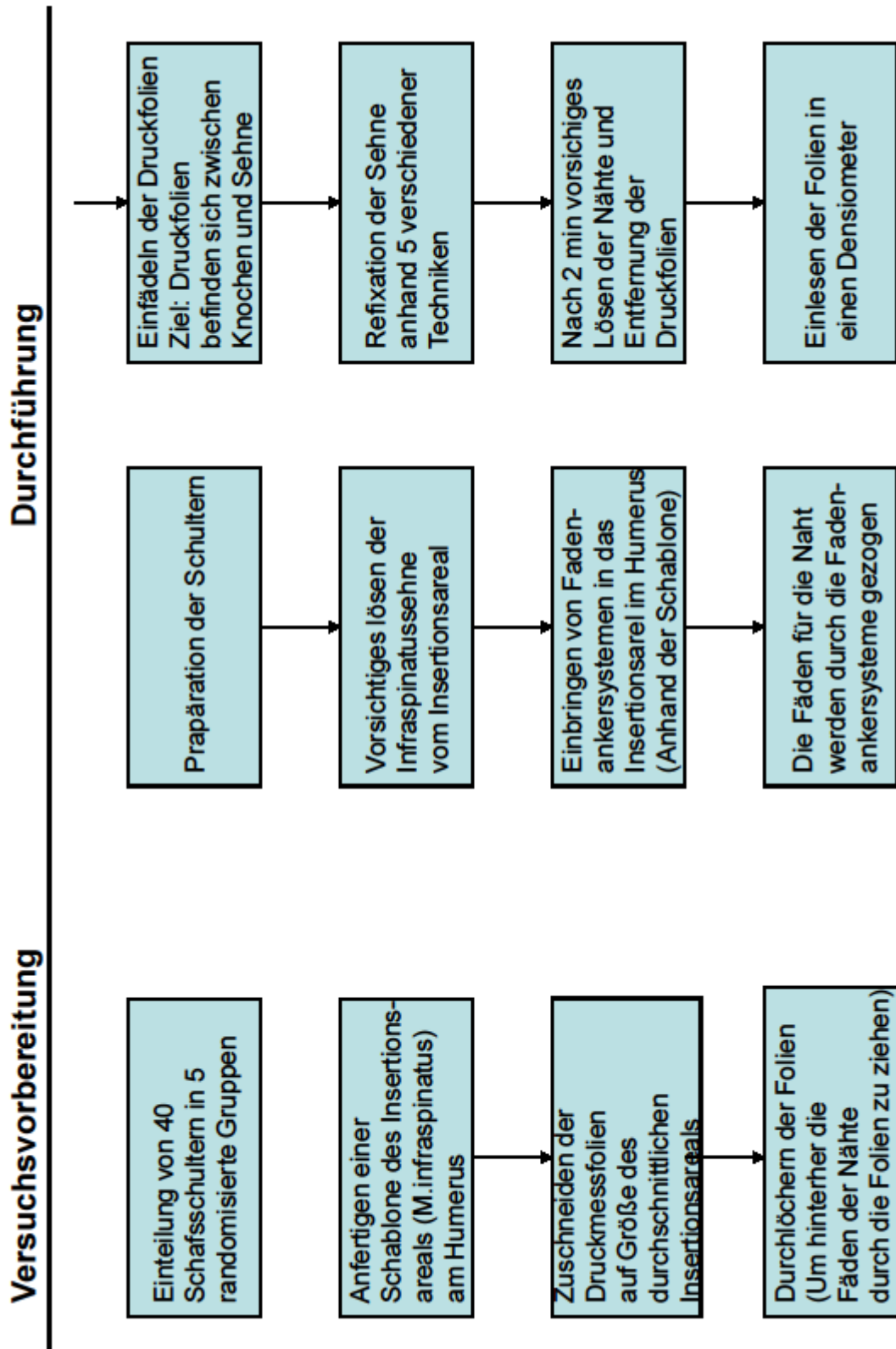


Abb. 27: Zusammenfassendes Schema der Versuchsvorbereitung und Durchführung

## 2.6 Statistik

Die statistische Analyse der Ergebnisse wurde mit einer SPSS Software (Rel. 13.0, SPSS, Chicago, IL, USA) durchgeführt. Hierbei handelt sich um ein Programm zur statistischen Analyse von Daten.

Der durchschnittliche Kontaktdruck wurde durch eine univariable Varianzanalyse (ANOVA) bestimmt.

Die Grundidee der Varianzanalyse besteht darin, zu prüfen, ob sich die Erwartungswerte in verschiedenen Gruppen unterscheiden. Hierbei kann getestet werden, ob die Varianz zwischen den Gruppen größer ist als innerhalb der Gruppen. So kann ermittelt werden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen gibt oder nicht. Ergebnisse der Versuche wurden als Durchschnittswerte +/- Standardabweichung festgehalten. Die Signifikanz wurde auf  $p < 0.05$  festgelegt.

### 3 Ergebnisse

	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5
Nr. 1	1,14	1,00	1,16	1,18	1,20
Nr. 2	0,98	0,90	1,20	1,16	1,19
Nr. 3	1,12	0,82	1,18	1,10	1,18
Nr. 4	1,16	1,00	1,10	1,14	1,14
Nr. 5	1,14	1,10	1,14	1,18	1,21
Nr. 6	0,88	0,98	1,10	1,16	1,16
Nr. 7	0,96	0,92	1,22	1,14	1,22
Nr. 8	1,16	0,88	1,12	1,1	1,20

Tab. 4: Zusammenfassung der gemessenen Drücke in Megapascal (MPa)

#### 3.1 Single-row-Technik, einfache Durchstichnaht (Gruppe 1)

Nach Auswertungen konnte in Gruppe 1 ein mittlerer Kontaktdruck von  $1,07 \pm 0,11$  MPa am Insertionsareal bestimmt werden (Tab. 4). Im Vergleich zu den anderen single-row-Gruppen war dieser mittlere Kontaktdruck größer als der mittlere Kontaktdruck der Gruppe 2, jedoch geringer als der der Gruppe 3. Der Druckunterschied zu Gruppe 2 war jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ). Gruppe 3 erreichte hingegen einen signifikant höheren Druck als Gruppe 1 ( $p < 0,05$ ).

Zudem zeigte sich der Kontaktdruck der beiden double-row-Gruppen (Gruppe 4 und Gruppe 5) signifikant höher ( $p < 0,05$ ) als bei dieser Versuchsgruppe.

### **3.2 Single-row-Technik, horizontale Matratzennaht (Gruppe 2)**

Die single-row-Technik mit der horizontalen Matratzennaht (Gruppe 2) zeigte mit  $0,95\pm 0,09$  MPa den niedrigsten mittleren Kontaktdruck von allen Versuchsgruppen (Tab. 4). Jedoch ergab sich kein signifikanter Druckunterschied zur Gruppe 1 ( $p > 0.05$ ). Die single-row-Gruppe mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht zeigte im Vergleich einen signifikant höheren Druck ( $p < 0.05$ ).

Gruppe 4 und 5 erreichten ebenfalls einen signifikant höheren Druck verglichen mit dieser Versuchsgruppe ( $p < 0.05$ ).

### **3.3 Single-row-Technik, arthroskopische Mason-Allen-Naht (Gruppe 3)**

Der höchste Kontaktdruck ( $1,15\pm 0,05$  MPa) bei den single-row-Techniken wurde mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht (Gruppe 3) gemessen ( $p < 0.05$ ). Im Vergleich zeigte sich eine signifikante Erhöhung des Kontaktdruckes zur Gruppe 1 und Gruppe 2 der Studie ( $p < 0.05$ ).

Der Unterschied des mittleren Kontaktdruckes zur Gruppe 4 (double-row, einfache Durchstichnaht kombiniert mit horizontaler Matratzennaht) war nicht signifikant ( $p > 0.05$ ). Jedoch erreichte die Gruppe 5 (double-row, horizontale Matratzennaht plus arthroskopische Mason-Allen-Naht) einen signifikant höheren Druck ( $p < 0.05$ ).

### **3.4 Double-row-Technik, einfache Durchstichnaht kombiniert mit horizontaler Matratzennaht (Gruppe 4)**

Insgesamt wurden bei den double-row-Techniken höhere Kontaktdrücke gemessen als bei den single-row-Techniken. Die Kombination einer

einfachen Naht mit der horizontalen Matratzennaht mit insgesamt vier Nahtankern (Gruppe 4) ergab einen mittleren Druck von  $1,15 \pm 0,03$  MPa.

Die double-row-Technik der Gruppe 4 zeigte somit ähnliche Werte wie die single-row-Technik der Gruppe 3 ( $p > 0,05$ ). Die double-row-Techniken (Gruppen 4 und 5) ergaben signifikant höhere Kontaktdrücke zwischen Sehnenstumpf und Knochen als die single-row-Techniken der Gruppen 1 und 2.

### **3.5 Double-row-Technik, horizontale Matratzennaht kombiniert mit arthroskopischer Mason-Allen-Naht (Gruppe 5)**

Die arthroskopische Mason-Allen-Naht in Kombination mit einer horizontalen Matratzennaht (Gruppe 5) ergab einen mittleren Druck von  $1,19 \pm 0,03$  MPa ( $p < 0,05$ ). Dies ist der höchste mittlere Kontaktdruck aller Versuchsgruppen. Die double-row-Technik in Gruppe 5 zeigte einen signifikant höheren Druck im Vergleich zur single-row-Technik der Gruppe 3 ( $p < 0,05$ ).

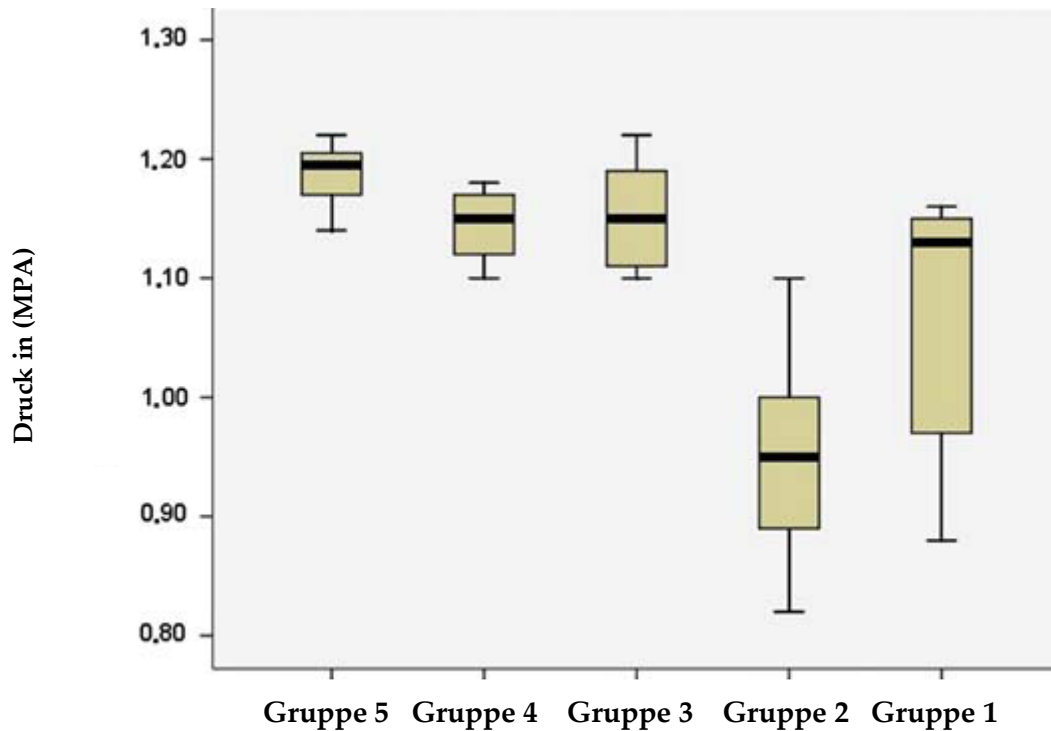


Abb. 28: Druckverteilung der untersuchten Reparaturstechniken.

Am niedrigsten war der Kontaktdruck bei Gruppe 1 und Gruppe 2. Gruppe 3 erreicht den höchsten Kontaktdruck von allen single-row-Techniken ( $p < 0.05$ ). Gruppe 5 erreichte insgesamt den höchsten Kontaktdruck ( $p < 0.05$ ). Gruppe 4 zeigte den gleichen Druck wie Gruppe 3 ( $p < 0.05$ )

(modifiziert nach Baums et al. 2009, S. 1469)

### 3.6 Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Studie (Abb. 28) zeigen, dass der höchste Kontaktdruck zwischen Sehne und Knochen am Insertionsareal durch die double-row-Technik mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht erzeugt wurde. Der niedrigste Kontaktdruck wurde bei der single-row-Technik mit der horizontalen Matratzennaht gemessen. Vergleicht man die single-row-Gruppen miteinander, so fällt eine signifikante Druckerhöhung durch die arthroskopische Mason-Allen-Naht im Vergleich zur einfachen Durchstichnaht und zur horizontalen Matratzennaht auf. Somit spielt

nicht nur die Art der Refixation (single- versus double-row-Technik) sondern auch die Nahttechnik eine Rolle für die Druckentwicklung am Insertionsareal.

Bei der Gruppe 4 (double-row, einfache Durchstichnaht kombiniert mit horizontaler Matratzennaht) zeigte sich hingegen keine signifikante Druckerhöhung im Vergleich zur Gruppe 3 (single-row, arthroskopische Mason-Allen-Naht). In diesem Fall führt also die double-row-Technik mit Vergrößerung der Kontaktfläche und doppelter Nahtankerzahl (4 statt 2 Nahtanker) zu keiner Erhöhung des Kontaktdruckes. Interessanterweise zeigt die Gruppe 4 jedoch signifikant höher Werte als die Gruppe 1 und 2 (Abb. 29).

Bei Anwendung von einfachen Nahttechniken kann die double-row-Technik den Kontaktdruck signifikant erhöhen. Die Gruppe 5 (double-row, horizontale Matratzennaht plus arthroskopischer Mason-Allen-Naht) führt zu einer signifikanten Erhöhung des Druckes im Vergleich zur Gruppe 3 (single-row, arthroskopische Mason-Allen-Naht). Somit führt in diesem Fall nur die Anwendung der double-row-Technik bei gleicher Nahttechnik ebenfalls zu einer signifikanten Druckerhöhung. Unsere Hypothese der Studie, die arthroskopische Mason-Allen-Naht in der single-row-Technik (Gruppe 3) erreicht ähnliche Kontaktdrücke wie die double-row-Technik mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht (Gruppe 5) wurde somit widerlegt.

Zusammenfassend führt die Anwendung einer double-row-Technik im Vergleich zu einer single-row-Technik zu einer Druckerhöhung am Insertionsareal. Zudem kann der Kontaktdruck durch die Verwendung der arthroskopischen Mason-Allen-Naht im Vergleich zu einfachen Nahttechniken erhöht werden.

Die höchsten Kontaktdrücke innerhalb des Insertionsareals wurden dabei sowohl bei den single-row- als auch bei den double-row-Gruppen

in unmittelbarer Nähe der Nahtankersysteme erreicht. In der Fläche zwischen den Ankern war der Druck geringer (Abb. 30)

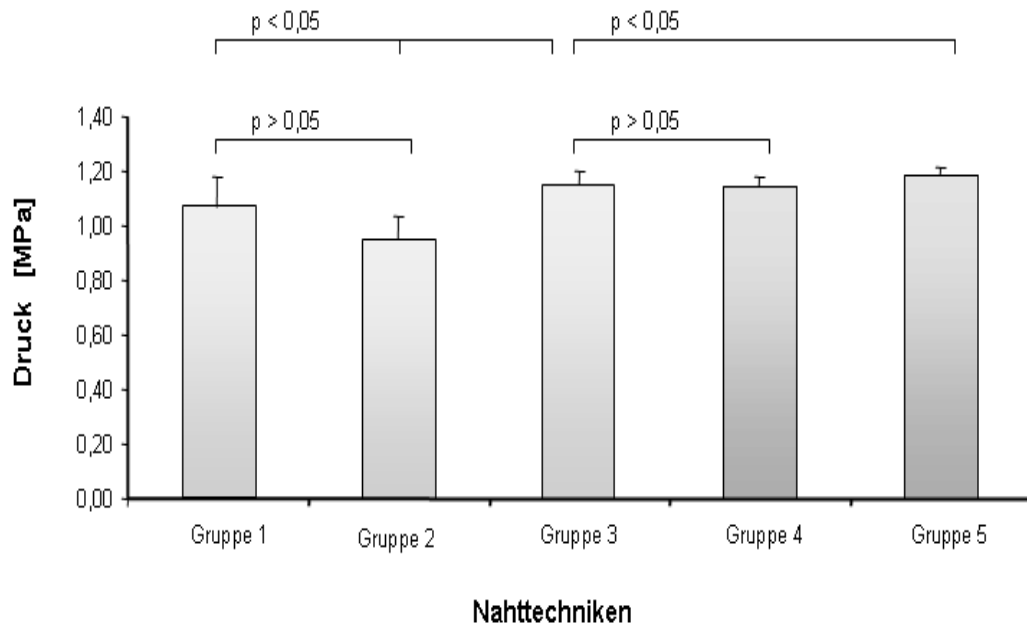
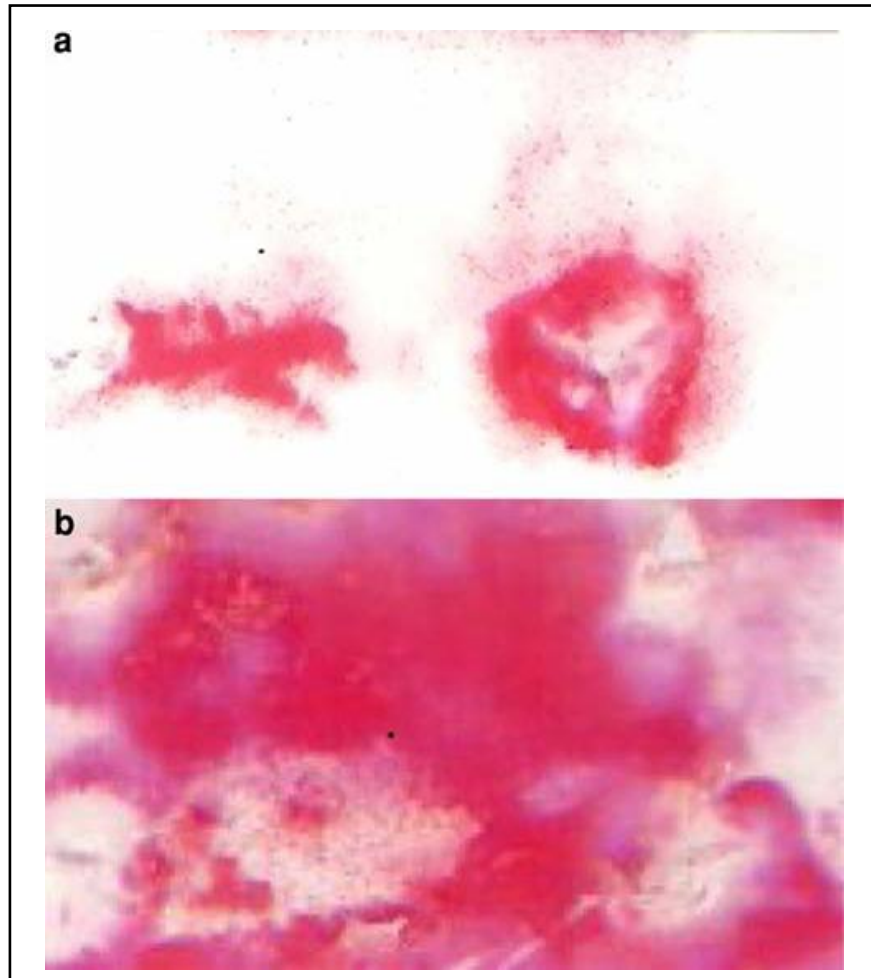


Abb. 29: Ergebnisse der Studie anhand eines Balkendiagramms mit Darstellung der Standardabweichung

- Gruppe 1:** mittlerer Kontaktdruck  $1,07 \pm 0,11$  MPa,  
kein signifikanter Unterschied zu Gruppe 2 ( $p > 0,05$ )
- Gruppe 2:** mittlerer Kontaktdruck  $0,95 \pm 0,09$  MPa,  
kein signifikanter Unterschied zu Gruppe 1 ( $p > 0,05$ )
- Gruppe 3:** mittlerer Kontaktdruck  $1,15 \pm 0,05$  MPa,  
signifikanter Unterschied zu Gruppe 1 und 2 ( $p < 0,05$ )
- Gruppe 4:** mittlerer Kontaktdruck  $1,15 \pm 0,03$  MPa,  
kein signifikanter Unterschied zu Gruppe 3 ( $p > 0,05$ )
- Gruppe 5:** mittlerer Kontaktdruck  $1,19 \pm 0,03$  MPa,  
signifikanter Unterschied zu Gruppe 3 ( $p < 0,05$ )





**Abb. 30: Typisches Kontaktdruckmuster**

**a) single-row-Technik (Gruppe 3); b) double-row-Technik (Gruppe 5)**

**(Baums et al. 2009, S. 1469)**

## 4 Diskussion

In vorliegender Studie wurde der initiale Kontaktdruck bei unterschiedlichen arthroskopischen RM-Nahttechniken zwischen Humerus und ISP-Sehne am Schafschultermodell bestimmt.

Vierzig Schafschultergelenke wurden zu fünf Gruppen mit unterschiedlichen Nahttechniken randomisiert (drei Gruppen in single-row-Konfiguration und zwei Gruppen in double-row-Konfiguration) und der Kontaktdruck gemessen. Die arthroskopische Mason-Allen-Naht wurde sowohl in der single-row- als auch in der double-row-Technik untersucht und mit einfachen Nahttechniken verglichen.

Als entscheidendes Ergebnis hat diese Untersuchung gezeigt, dass die double-row-Technik signifikant höhere Kontaktdrücke erzeugt als die single-row-Technik. Zudem führt das Anwenden von komplexen Nahttechniken - wie in diesem Fall der arthroskopischen Mason-Allen-Naht - zu einer signifikanten Erhöhung des Kontaktdruckes zwischen Knochen und Sehne am Insertionsareal.

Die Hypothese der Studie, die arthroskopische Mason-Allen-Naht in Kombination mit der horizontalen Matratzennaht in der double-row-Technik (Gruppe 5) erzeuge ähnliche Kontaktdrücke am Insertionsareal wie die arthroskopische Mason-Allen-Naht in der single-row-Technik (Gruppe 3), wurde somit widerlegt. Insgesamt erzielte die double-row-Technik mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht (Gruppe 5) den höchsten Kontaktdruck aller Testgruppen.

Diese Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für die Entwicklung einer stabilen RM-Rekonstruktion und eines Goldstandardmodells bei der operativen Versorgung der RM-Ruptur.

Für die operative Versorgung der RM-Ruptur werden bislang unterschiedliche Methoden angewendet. Gebräuchliche Operationstechniken sind die in offener Form durchgeführte Refixation mittels transossärer Nahttechnik sowie die arthroskopische Refixation mittels Fadenankersystem (Habermeyer 2002). Eine geringe Traumatisierung des umliegenden Gewebes sollte für eine schnellere Rehabilitation mit besseren funktionellen Ergebnissen angestrebt werden. Deshalb sollten minimal-invasive Techniken zur operativen Versorgung bevorzugt werden (Djurasovic et al. 2001, Hata et al. 2004). Ist eine arthroskopische Versorgung nicht möglich oder vom Patienten nicht gewünscht, werden weiterhin auch transossäre Nahttechniken angewandt. Abzuwägen bleibt jedoch der Nachteil einer Gewebetraumatisierung mit Verzögerung der Rehabilitation im Vergleich zur Anwendung arthroskopischer Techniken.

Galatz et al. (2004) zeigten bei 17 von 18 Patienten nach arthroskopischer Rekonstruktion großer RM-Rupturen innerhalb kurzer Zeit allerdings eine Reruptur. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis ist, dass eine arthroskopische Versorgung womöglich für die Rekonstruktion kleiner RM-Läsionen besser geeignet ist. Andererseits erwiesen sich in einer biomechanischen Studie an Kadaverschultergelenken Nahtanker bei einer zyklischen Belastung transossären Nähten überlegen (Burkhart et al. 1997). Die Frage, ob die Vorteile einer arthroskopischen Versorgung der RM-Ruptur, der einer offen chirurgischen Rekonstruktion mittels trans-ossärer Nahttechniken überwiegen, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden. Diese Entscheidung verbleibt es individuell am Patienten zu treffen.

Gemeinsames Ziel aller Rekonstruktionstechniken ist es, eine schmerzfreie Beweglichkeit des Schultergelenkes mit vollständiger Kraftentfaltung wiederherzustellen.

Die Rerupturraten gerade bei mittelgroßen und großen RM-Defekten liegen jedoch trotz moderner Operationstechniken bei minimal-invasiven Verfahren weiterhin zwischen 30% und 94% (Cummins und Murell 2003, Boileau et al. 2005, Galatz et al. 2004). Auf der Basis dieser Ergebnisse ist es notwendig, eine strapazierfähigere Rekonstruktionstechnik zu entwickeln, die die primäre Stabilität in der initialen postoperativen Phase gewährleisten und damit die Heilungschancen der Sehne im Langzeitverlauf am Insertionsareal erhöhen kann.

Von Gerber et al. wurden bereits 1994 für offene Insertionstechniken zentrale Anforderungen an eine Nahttechnik als Voraussetzung für eine sichere Einheilung der Sehne postuliert:

- hohe initiale Zugfestigkeit
- minimale Lückenbildung (engl., gap-formation) zwischen Sehne und Knochen
- Aufrechterhaltung der mechanischen Stabilität bis zur Einheilung der Sehne
- geringe Gewebetraumatisierung

Um diesen Ansprüchen an eine stabile Naht auch bei einem arthroskopischen Eingriff gerecht zu werden, wurde die Idee einer doppelreihigen Nahtankertechnik, die sog. double-row-Technik, entwickelt. Hierbei werden die Nahtankersysteme in zwei parallel zueinander verlaufenden Reihen im Insertionsareal der Sehne am proximalen Humeruskopf eingebracht. So soll das ursprüngliche anatomische Insertionsareal (engl. footprint) der Knochen-Sehnen-Verbindung wiederhergestellt werden. Die Arbeitsgruppe um Fealy et al.

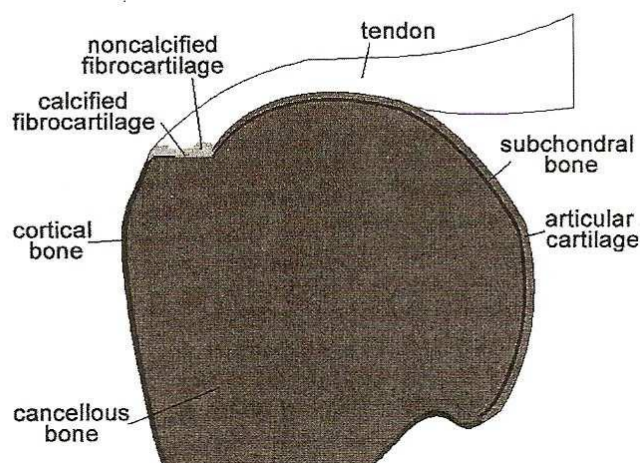
(2002) erwartete sich dadurch eine höhere primäre Stabilität und somit ein sicheres Anwachsen der Sehne am Knochen. In biomechanischen Studien konnte bereits eine Überlegenheit dieser Technik im Hinblick auf die maximale Zugfestigkeit und Gewebesteifigkeit im Vergleich zur single-row-Technik demonstriert werden (Baums et al. 2010). In einer weiteren biomechanischen Studie (Kim DH et al. 2005) wurde gezeigt, dass neben der höheren initialen Stabilität die Lückenbildung bei zyklischer Belastung (engl. gap-formation) bei Anwendung der double-row-Techniken im Vergleich zu den single-row-Techniken vermindert werden kann. Somit werden die ersten beiden von Gerber et al. (1994) geforderten Paradigmen durch die double-row-Technik gewährleistet.

Einen weiteren Anspruch, dem eine stabile Nahttechnik gerecht werden muss ist es, Mikrobewegungen zwischen Sehne und Knochen zu verhindern, da diese den Heilungsprozess verzögern oder gar verhindern können (Ahmad et al. 2005). Deshalb muss die mechanische Stabilität der Rekonstruktion bis zur Einheilung der Sehne erhalten bleiben (Gerber et al. 1994). Ahmad et al. (2005) führten Untersuchungen zu Bewegungen am Insertionsareal nach RM-Naht an zwölf humanen Kadaverschultergelenken durch. Mit Hilfe einer Digitalkamera wurden Bewegungen der Sehne am Insertionsareal bei Innen – und Außenrotation des Gelenkes analysiert. Die transossäre Nahttechnik zeigte hier ein signifikant geringeres Bewegungsausmaß der Sehne am Insertionsareal ( $0.02 \pm 1.18$  mm) im Vergleich zu der Nahtankertechnik ( $2.35 \pm 1.26$  mm).

Grundidee vorliegender Studie ist es, dass diese Mikrobewegungen durch eine Erhöhung des initialen Kontaktdruckes am Insertionsareal minimiert werden können.

Der optimale Kontaktdruck, den eine Sehne zum Heilen braucht ist bislang jedoch unbekannt bzw. nicht definiert. Ist der Kontaktdruck am Insertionsareal niedrig, riskiert man, dass sich zwischen Sehne und Knochen eine Lücke (engl. gap-formation) bildet und sich die Naht und dadurch die Verbindung der Sehne mit dem Knochen lockert. Die Folge ist eine unzureichende Einheilung der Sehne. Ein hoher Druck kann die Durchblutung kompromittieren, dadurch das Wachstum des Gewebes inhibieren und es können Nekrosen entstehen. Auch hierbei resultiert eine mangelnde Sehnenheilung. Die histologischen Eigenschaften der Sehnen-Knochen Verbindung wurden 2003 von Wakabayashi et al. untersucht.

Eine gesunde Sehne-Knochen-Verbindung der Rotatorenmanschette besteht aus vier Zonen (Abb. 31): der Sehne, einer faserknorpeligen Zone, einer Zone mit mineralisiertem Faserknorpel und dem Knochen (Wakabayashi et al. 2003).



**Abb. 31: Die vier Zonen der Sehnen-Knochen-Verbindung**

(Wakabayashi et al. 2003, S. 614)

Ziel einer RM-Rekonstruktion ist es, diese Verbindung wieder herzustellen.

Uthoff und Sarkar (1991) zeigten in einer histologischen Studie, dass die Heilung der Sehne vom Knochen und der Bursa subacromialis ausgeht. In der Studie wurden intraoperativ bei Patienten (n=115) histologische Proben entnommen. Die Hauptquelle fibrovaskulären Gewebes konnte in der Wand der Bursa subacromialis gefunden werden. Eine subtotale Bursektomie sollte deshalb intraoperativ vermieden werden.

Ein gleichmäßiger und ausreichender Kontaktdruck am Insertionsareal gewährleistet die initiale Stabilität der Sehnen-Knochen-Verbindung und kann Mikrobewegungen am Insertionsareal verhindern. Damit kann die Sehnenheilung gesichert werden. Zudem kann eine möglichst flächendeckende Rekonstruktion des Insertionsareal und somit Vergrößerung des Kontaktareals den Heilungsprozess der Sehnen-Knochen-Verbindung fördern.

Die double-row-Technik führt zu einer signifikanten Vergrößerung der Kontaktfläche (Brady et al. 2006; Nelson et al. 2008; Tuoheti et al. 2005). Brady et al. konnten 2006 in einer in-vivo-Studie an 26 Patienten zeigen, dass durch die single-row-Technik 52.7% +/- 9.2% der Kontaktfläche am Knochen nicht von der Sehne bedeckt waren. In der Studie wurde intraoperativ das Insertionsareal zunächst vor Rekonstruktion ausgemessen. Anschließend wurde die Größe der Kontaktfläche zwischen Sehne und Insertionsareal nach Einbringen der medialen Reihe (single-row) und nach zusätzlichem Einbringen der lateralen Reihe (double-row) gemessen. Die double-row-Technik konnte die Kontaktfläche verdoppeln.

Auch Nelson et al. (2008) demonstrierten an Schafschultergelenken, dass es nach der double-row Rekonstruktion im Vergleich zur single-row Rekonstruktion zu einer signifikant größeren Wiederherstellung des so genannten anatomischen footprints kommt.

Tuoheti et al. führten 2005 an zehn humanen Kadaverschultergelenken am Insertionsareal der SSP-Sehne Untersuchungen zur Größe der Kontaktfläche durch. Die Ergebnisse zeigen eine signifikant größere Kontaktfläche bei der double-row-Technik im Vergleich zur transossären oder der single-row-Technik. So erreicht die double-row-Technik eine bis zu 60% größere Kontaktfläche zwischen Sehne und Knochen im Vergleich zur single-row Rekonstruktion.

Neben der Erhöhung des Kontaktdruckes und der Vergrößerung der Kontaktfläche durch die double-row-Technik konnte in vorliegender Studie nachgewiesen werden, dass auch die Anwendung der Nahttechnik Einfluss auf den Kontaktdruck hat. Dieser Aspekt blieb bei bisher durchgeführten Untersuchungen unberücksichtigt. Ein Einfluss auf die Einheilung der Sehne am Insertionsareal ist somit wahrscheinlich.

Eine weitere Schlüsselrolle in der Entwicklung einer stabilen Rekonstruktion spielt folglich die Nahttechnik selbst. Für die transossäre Rekonstruktion wurde von Gerber et al. (1994) die modifizierte Mason-Allen-Naht entwickelt. Diese Stichtechnik gilt bei der transossären Operation in einer biomechanischen Studien (Gerber et al. 2004) als bisher belastungsstabilste Methode.

Die arthroskopische Mason-Allen-Naht wurde 2003 von Scheibel und Habermeyer entwickelt. Bei dieser Technik werden eine einfache Durchstichnaht und eine horizontale Matratzennaht benutzt, die durch den gleichen Fadenanker gezogen werden. Die zuerst verknotete



Matratzennaht bietet der einfachen Naht ein Widerlager und soll dadurch die Nahtstabilität erhöhen. Ziel dieser gekoppelten Nahttechnik ist es, einen Ausriss des Fadens aus der Sehne zu verhindern. Biomechanische Studien konnten bereits eine Überlegenheit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht demonstrieren (Baums et al. 2008, Klinger et al. 2007).

Eine aktuelle biomechanische Studie konnte eine höhere Stabilität der arthroskopischen Mason-Allen-Nahttechnik im Vergleich zur modifizierten transossären Mason-Allen-Naht bestätigen (Klinger et al. 2007).

Baums et al. (2008) haben in zyklischen Belastungstests die arthroskopische Mason-Allen-Nahttechniken in einer single-row- und einer double-row-Gruppe untersucht. Ihre Ergebnisse erbrachten eine deutliche Überlegenheit der double-row-Gruppe mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht hinsichtlich der initialen zyklischen Stabilität. Zudem erreichte die double-row-Gruppe mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht die höchste maximale Versagenslast.

Auch die vorliegende Studie zeigt eine Überlegenheit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht in Bezug auf die gemessenen Parameter (Kontaktdruck am Insertionsareal) im Vergleich zu anderen Nahttechniken. Baleani et al. (2006) demonstrieren, dass ein Versagen der Sehnen-Knochen-Verbindung in der frühen postoperativen Phase häufig durch einen Ausriss des Fadens aus der Sehne bedingt ist. Cummins und Murell (2003) wiesen nach, dass die Hauptursache für ein Versagen der Sehnen-Knochen-Verbindung ein Herausrutschen der Sehne aus dem Nahtsystem ist. Ein Schlüssel zur Behebung dieser Problematik besteht nach diesen grundlegenden Überlegungen in der Verwendung gekoppelter Nahttechniken, wie z. B. der arthroskopischen Mason-Allen-Naht in der double-row-Technik. Wie in der vorliegenden Studie gezeigt

werden konnte, führt diese Technik zu einer signifikanten Erhöhung des Kontaktdruckes. Ein erhöhter Kontaktdruck und somit auch Anpressdruck der Sehne am Knochen kann dazu beitragen, ein Herausrutschen der Sehne aus der Naht zu verhindern.

Die double-row-Technik führt zu einer signifikanten Vergrößerung der Kontaktfläche am Insertionsareal (Brady et al. 2006; Nelson et al. 2008; Tuoheti et al. 2005) und zu einer signifikanten Erhöhung des Kontaktdruckes, wie die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen. Klinische Ergebnisse konnten bisher jedoch keine eindeutige Überlegenheit demonstrieren.

Ji et al. haben 2010 siebenundvierzig Patienten postoperativ nach RM-Rekonstruktion untersucht. Bei zweiundzwanzig Patienten wurde eine arthroskopische single-row-Technik durchgeführt, bei fünfundzwanzig Patienten eine arthroskopische double-row-Technik. Nach im Durchschnitt vierundzwanzig Monaten wurde anhand des UCLA Scores eine klinische Verlaufskontrolle durchgeführt. Hier zeigte sich keine signifikante Überlegenheit der double-row-Technik in Bezug auf die Patientenzufriedenheit und Muskelkraft.

Charoussat et al. (2007) untersuchten das Operationsergebnis sechs Monate postoperativ anhand des Constant Scores. Beim Constant Score werden Schmerz, Mobilität, Alltagsaktivität und Kraftgrad des betroffenen Schultergelenkes analysiert. Untersucht wurden zwei Patientengruppen; eine single-row-Gruppe (n=35 Patienten) sowie eine double-row-Gruppe (n=31 Patienten). Es lies sich kein signifikanter Unterschied im ermittelten Constant Score feststellen.

In beiden aufgeführten klinischen Studien konnte somit keine Überlegenheit der double-row-Technik nachgewiesen werden. Beide

Studien führten ihre Untersuchung in einer späteren Regenerationsphase (sechs bzw. vierundzwanzig Monate) postoperativ durch. Möglicherweise liegen jedoch die Vorteile der double-row-Technik in der frühen postoperativen Phase, wie eine tierexperimentelle Studie zeigt (Baums et al. 2012).

Baums et al. (2012) analysierten in einer in-vivo-Studie die biomechanischen Eigenschaften nach RM-Rekonstruktion am Schaf nach 6, 12 und 26 Wochen postoperativ. Es wurden die single-row (arthroskopische Mason-Allen-Naht) sowie die double-row-Technik (arthroskopische Mason-Allen-Naht in Kombination mit einer horizontalen Matratzennaht) miteinander verglichen. Diese Ergebnisse zeigen eine Überlegenheit der double-row-Technik nach 6 und nach 12 Wochen. Interessanterweise zeigte sich nach 26 Wochen kein signifikanter Unterschied mehr zwischen den beiden Gruppen. Dies kann ein möglicher Grund sein, weshalb Charouset et al. (2007) und Ji et al. (2010) in den oben genannten klinischen Studien keinen signifikanten Unterschied nach 6 Monaten bzw. 24 Monaten aufzeigen konnten. Die Vorteile der double-row-Technik liegen vermutlich in der höheren primären Stabilität innerhalb der ersten sechs postoperativen Monate.

Charouset et al. (2008) untersuchten ebenfalls den zeitlichen Ablauf der Regeneration nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion bei 118 Patienten. Es zeigte sich eine signifikante Verbesserung des Constant Scores zwischen dem dritten postoperativen Monat und nach zwölf Monaten. Eine vollständige Heilung der Sehne scheint somit bis zu 12 Monate zu beanspruchen. Eine Immobilisation der Schulter für diesen langen Zeitraum ist jedoch undenkbar. Dies würde zu einer Versteifung des Gelenkes führen. Eine Ruhigstellung des Schultergelenkes für 6 Wochen nach arthroskopischer RM-Operation führt zu keiner Versteifung des Schultergelenkes (Parsons et al. 2010).

St-Pierre et al. (1995) demonstrierten anhand einer in-vivo-Studie an der Ziege, dass die Stabilität der RM-Naht zwischen der 6. und 12. postoperativen Wochen signifikant steigt. Dies scheint die Phase zu sein, in der eine stabile Sehnen-Knochen-Verbindung entsteht.

Somit ist die initiale Stabilität der Naht von großer Bedeutung. Diese muss einer Mobilisation und Rehabilitation standhalten, bis eine sichere Sehnen-Knochen-Verbindung entstanden ist.

Die Belastbarkeit der initialen Naht spielt folglich eine bedeutende Rolle für die Langzeitprognose der erfolgten Refixation. Die kritische Phase, die über Erfolg oder Misserfolg der Rekonstruktion entscheidet, beginnt unmittelbar postoperativ. In den ersten Wochen müssen alle Kräfte, die zwischen Sehne und Knochen auftreten, von der Rekonstruktion abgefangen werden (Smith et al. 2006).

Dieser zeitliche Ablauf der Regeneration ist möglicherweise die Ursache für die Überlegenheit der double-row-Technik in der frühen postoperativen Phase (Baums et al. 2012). Welchen Einfluss die Nahttechnik auf die Einheilung der Sehne hat, kann durch histologische Studien und Untersuchungen durch bildgebende Maßnahmen geklärt werden.

Charousset et al. (2007) untersuchten Patienten mittels CT-Arthrography nach single-row und double-row Rekonstruktion. Hier zeigte sich eine signifikante Verbesserung der Sehnenheilung bei der double-row-Technik.

Baums et al. führten 2012 eine MRT-Studie bei Schafen nach in-vivo RM-Rekonstruktionen durch. Anhand des von Sugaya et al. (2005) entwickelten Protokolls zur Analyse der Sehneneinheilung am Schultergelenk ergaben sich jedoch keine morphologischen Unterschiede

zwischen den Versuchsgruppen single-row und double-row Rekonstruktion.

Der Schwerpunkt vorliegender Arbeit liegt auf der Analyse arthroskopischer Nahttechniken zur RM-Rekonstruktion unmittelbar nach Sehnenrefixation. Es gibt aufschlussreiche Studien, die in einer ähnlichen Versuchstechnik den Kontaktdruck am Insertionsareal bei transossären Nahttechniken gemessen haben. Hier wurden offene-chirurgische (transossäre) Nähte mit der arthroskopischen double-row/single-row-Technik verglichen (Park et al. 2005; Park et al. 2007).

Park et al. (2005) haben transossäre Nahttechniken und single-row-Techniken (einfache Naht und Matratzennaht) mit einem der vorliegenden Studie vergleichbaren Versuchsaufbau untersucht. Die transossäre Naht konnte signifikant höhere mittlere Drücke am Insertionsareal erzeugen. In einer weiteren Studie (Park et al. 2007) wurde die transossäre Nahttechnik mit der double-row-Technik verglichen. Bei der transossären Nahttechnik kam es zu einer signifikanten Erhöhung des mittleren Kontaktdruckes am Insertionsareal. Diese Studien zeigen eine Überlegenheit der transossären Nahttechnik in Bezug auf den Kontaktdruck am Insertionsareal. Transossäre Nahttechniken sind jedoch, wie bereits erwähnt, arthroskopisch nur unzureichend umsetzbar.

In beiden Studien wurde allerdings nicht auf den Einfluss unterschiedlicher Nahttechniken auf den Kontaktdruck eingegangen. Es wurde vermutet, dass lediglich die Operationstechnik (transossäre Naht oder single-/double-row-Technik) Einfluss auf den Kontaktdruck hat.

Zudem fehlte der unmittelbare Vergleich der double-row und der single-row-Technik. Diese Punkte wurden in der vorliegenden Studie untersucht.

Die Stärke vorliegender Studie liegt in dem anhand eines etablierten Modells geplanten Versuchsaufbau.

So wurden die Untersuchungen am Schafschultermodell durchgeführt. Gerber et al. (1994) zeigten an Kadaverschultergelenken des Schafes, dass dessen ISP-Sehne aufgrund histologischer und struktureller Eigenschaften ein geeignetes Modell für die menschliche SSP-Sehne darstellt. Das Tiermodell an Schafschultergelenken wird mittlerweile häufig angewendet (Gerber et al. 1994; Klinger et al. 2007; Baums et al. 2008 + 2012).

Des Weiteren wurden für die Versuche drucksensitive Folien (Fuji-Film) verwendet. Auch hier handelt es sich um ein bereits etabliertes Verfahren (Tuoheti et al. 2005; Park et al. 2005; Park et al. 2007). Der Druckmessbereich der Folien erfasst Drücke zwischen 0,5 bis 2,5 MPa.

Um eine arthroskopische Naht zu simulieren wurden zudem ausschließlich arthroskopische Instrumente verwendet.

Einige Faktoren limitieren die Aussagekraft der Ergebnisse vorliegender Studie. Das Schafschultermodell ist einerseits ein etabliertes Modell zur Untersuchung von Sehnen der RM. Trotzdem bleibt es eine Annäherung an die anatomischen Verhältnisse beim Menschen. Klinische Faktoren einer humanen RM-Sehne können durch das Tiermodell nicht simuliert werden. Atrophie und fettige Degeneration wie bei chronischen humanen Sehenschäden und Osteoporose werden bei Anwendung dieses Modells nicht berücksichtigt. Chung et al. (2011) untersuchten in einer Studie anhand von 408 Patienten den Einfluss dieser Faktoren auf die Heilung nach arthroskopischer RM-Rekonstruktion. Die Rerupturrate wurde mittels Computertomographie- oder Sonographieuntersuchung nach 13,0 ± 5,1 Monaten evaluiert.

Bei Patienten mit niedriger Knochendichte zeigte sich eine signifikant höher Rerupturrate. Auch bei weiblichen Patienten, bei Patienten mit Diabetes mellitus und Patienten mit fettiger Degeneration der Sehne war die Rerupturrate signifikant erhöht. Diese Faktoren können in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt werden.

Die Untersuchungen beschränken sich auf die Kontaktdrücke zwischen dem Knochen und der Sehne als mögliche Indikatoren für eine stabile Sehnen-Knochen Naht. Um die Druckfolien zwischen den Nähten einzubringen, mussten diese durchlöchert werden. Dies wurde sorgfältig mittels einer Nadel erreicht. Trotzdem lässt sich nicht ausschließen, dass durch diese Manipulation Artefakte entstanden sind, die zu Fehlern bei den Druckmessungen geführt haben. Zudem musste berücksichtigt werden, dass beim Zuziehen der Knoten kein zusätzlicher Druck auf die Folien erzeugt wird. Um dies zu verhindern wurde penibel darauf geachtet, dass die Instrumente beim Zuziehen der Knoten keinen Kontakt zu den Folien zu haben.

Die Versuche wurden mit Folien durchgeführt die einen Druckmessbereich zwischen 0,5 bis 2,5 MPa erfassen. Es besteht die Möglichkeit, dass durch die Auswahl dieser Folien der Druckbereich unterschätzt wurde.

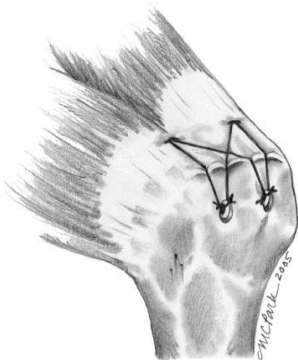


Abb. 32: Suture-bridge-Technik (Park et al. 2006, S. 1360e.3)

Es gibt weitere vielversprechende Refixationstechniken wie die suture-bridge-Technik (Park et al. 2006) (Abb. 32). Diese Variante wurde in vorliegender Studie nicht berücksichtigt. Bei dieser Technik handelt es sich um ein Verfahren, bei dem die Fäden zwischen den Nahtankern auf der Sehne gekreuzt werden. Hiermit soll ein gleichmäßiger und flächendeckender Kontaktdruck am Insertionsareal entstehen. In vorliegender Studie wurde der höchste Druck unmittelbar im Bereich der Nahtanker gemessen. Zwischen den Ankern war der Druck deutlich geringer. Die suture-bridge-Technik könnte dieses Ungleichgewicht aufheben.

Kim KC et al. konnten 2012 anhand postoperativer Ultraschall- und MRT-Untersuchungen zeigen, dass es nach arthroskopischer suture-bridge-Technik zu Rerupturraten von lediglich 15 % kommt. Selbst bei massiven Rotatorenmanschettenrupturen kam es nur zu Rerupturen in 22% der untersuchten Fälle. Gerhardt et al. (2012) führten klinische- und MRT Untersuchungen nach einer single-row Rekonstruktion mit der arthroskopischen Mason-Allen-Naht und an Patienten mit Doppelreihentechnik in Form der suture-bridge durch. Interessanterweise ergab sich hier kein signifikanter Unterschied sowohl klinisch im evaluierten Constant Score als auch in den postoperativen MRT-Untersuchungen.

Weitere Untersuchungen sind notwendig, um nachzuweisen, welche Vorteile diese Technik hat. Zudem ist ein Vergleich des Kontaktdruckes zwischen herkömmlicher Nahttechnik mit Fadenankersystemen (single-row/double-row-Technik) im Vergleich zur suture-bridge-Technik interessant.



Baums et al. (2010) führten eine Studie zur suture-bridge-Technik durch. Hier wurde ein mittlerer Kontaktdruck von  $1.19 \pm 0.03$  MPa gemessen. Dies entspricht dem mittleren Kontaktdruck von Gruppe 5 der vorliegenden Arbeit. Auch hier wurde der höchste Kontaktdruck im Bereich der Knoten gemessen. Es zeigte sich jedoch bei der suture-bridge-Technik eine deutlich homogenere Verteilung des Druckes. Dies kann ein möglicher Grund für die klinisch geringe Rerupturrate sein.

Zusammenfassend demonstrieren die Ergebnisse vorliegender Studie eine Überlegenheit der double-row-Technik in Hinblick auf den untersuchten Parameter des Kontaktdruckes am Insertionsareal der Sehne. Die Anwendung von gekoppelten Nahttechniken (arthroskopische Mason-Allen-Naht) führte ebenfalls zu einer signifikanten Erhöhung des Kontaktdruckes am Insertionsareal.

Dadurch lässt sich wiederum schlussfolgern, dass nicht nur die Anzahl der Fadenankersysteme für die Druckkräfte am Insertionsareal entscheidend sind, sondern auch die Nahttechnik per se eine entscheidende Rolle spielt. Welchen Einfluss der Kontaktdruck am Insertionsareal auf die klinischen Ergebnisse nach RM-Rekonstruktion hat, wurde in dieser Studie nicht geklärt. Jedoch scheint die Überlegenheit der double-row-Technik in der ersten postoperativen Phase zu liegen (Baums et al. 2012). Weitere Studien sind notwendig, um dies endgültig zu bestätigen.

## 5 Fazit

Die Ergebnisse vorliegender Studie zeigen, dass die double-row-Techniken höhere Kontaktdrücke am Insertionsareal im Vergleich zu den single-row-Techniken erzeugen. Zudem erzielt die arthroskopische Mason-Allen-Naht als gekoppelte Nahttechnik, sowohl als single-row- als auch als double-row –Anwendung, höhere Kontaktdrücke verglichen mit einfachen Nahttechniken.

Vorliegende Studie ist ein weiterer Beitrag zum Nachweis einer höheren Stabilität der double-row-Konfiguration kombiniert mit einer komplexen Nahttechnik unmittelbar nach erfolgter Refixation. Somit können optimierte Voraussetzungen zur langfristig sicheren Einheilung der Sehnen-Knochen-Verbindung geschaffen werden.

## 6 Zusammenfassung

In dieser Studie wurden am etablierten Schafschultermodell fünf arthroskopische Nahttechniken für die Rekonstruktion der RM-Ruptur untersucht. Die Annahme ist, dass höhere Kontaktdrücke die Bewegungen zwischen Sehnen und Knochen möglichst gering halten und somit den Heilungsprozess fördern.

Hypothese der Studie ist, dass die arthroskopische Mason-Allen-Naht in der single-row-Technik ähnliche Kontaktdrücke erzeugt wie eine Naht in der double-row-Technik aus einer Kombination einer arthroskopischen Mason-Allen-Naht und einer horizontalen Matratzennaht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die single-row-Technik mit einfacher Nahttechnik (Gruppe 1 und Gruppe 2) im Vergleich zueinander keinen signifikanten Druckunterschied am Insertionsareal erzeugt. Die arthroskopische Mason-Allen-Naht als gekoppelte Nahttechnik in einer single-row-Konfiguration (Gruppe 3) erreicht jedoch signifikant höhere Drücke ( $p < 0.05$ ) im Vergleich zu Gruppe 1 und 2.

Insgesamt erzeugt eine double-row-Technik mit der Kombination aus arthroskopischer Mason-Allen-Naht und einer einfachen Matratzennaht (Gruppe 5) die höchsten Kontaktdrücke aller untersuchten Techniken ( $p < 0.05$ ) auf einem größeren Insertionsareal. Die double-row-Technik mit einer einfachen Naht (Gruppe 4) erreicht ähnliche Kontaktdrücke wie die single-row-Technik mit einer arthroskopischen Mason-Allen-Naht (Gruppe 3).

Zusammenfassend kann durch die Anwendung von komplexen Nahttechniken (arthroskopische Mason-Allen-Naht) im Vergleich zu der

einfachen Durchstich- oder der Matratzennaht der Kontaktdruck am Insertionsareal der ISP-Sehne am Humerus erhöht werden. Zudem zeigen die Abdrücke der Folien, dass durch eine double-row-Naht ein gleichmäßigeres Druckmuster am Insertionsareal der ISP-Sehne entsteht als bei einer single-row-Naht.

Durch Erhöhungen des Kontaktdruckes am Insertionsareal des Humerus können Mikrobewegungen und Lückenbildung zwischen Sehne und Knochen minimiert werden. Ein zu hoher Druck kann jedoch zu einer Strangulation und Nekrose des Gewebes führen und somit die Heilung der Sehne am Knochen negativ beeinflussen. Weitere klinische und histologische Studien sind deshalb notwendig, um nachzuweisen, ob die durch die double-row-Technik erreichten optimierten Bedingungen zum Zeitpunkt 0 tatsächlich zu einer langfristig sicheren Einheilung von Sehnen der Rotatorenmanschette beitragen können.

## 7 Anhang: Publikation

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc  
DOI 10.1007/s00167-009-0771-7

SHOULDER

### Comparative evaluation of the tendon-bone interface contact pressure in different single- versus double-row suture anchor repair techniques

Mike H. Baums · G. Spahn · H. Steckel · A. Fischer ·  
W. Schultz · H.-M. Klinger

Received: 15 October 2008 / Accepted: 20 February 2009  
© The Author(s) 2009. This article is published with open access at Springerlink.com

**Abstract** The aim of the study was to evaluate the time zero contact pressure over a defined rotator cuff footprint using different repair and stitch techniques in an established sheep model. Forty fresh-frozen sheep shoulders were randomly assigned to five repair groups: single-row repair using simple stitches (SRA-s), single-row repair using horizontal mattress stitches (SRA-m), and single-row repair using arthroscopic Mason-Allen stitches (SRA-ama). Double-row repair was either performed with a combination of simple and horizontal mattress stitches (DRA-sm) or with arthroscopic Mason-Allen/horizontal mattress stitches (DRA-amam). Investigations were performed using a pressure-sensitive film system. The average contact pressure and pressure pattern were measured for each group. Contact pressure was lowest in SRA-m followed by SRA-s. SRA-ama showed highest contact pressure of all single-row treatment groups ( $P < 0.05$ ). DRA-amam presented the highest overall contact pressure ( $P < 0.05$ ), whereas DRA-sm exerted contact pressure equal to that of SRA-ama. Both double-row techniques showed the most expanded pressure pattern. Average contact pressures for the more complex single- and double-row techniques utilizing arthroscopic Mason-Allen stitches

were greater than were those of the repair techniques utilizing simple and horizontal mattress stitches. However, the contact pattern between the anchors could be increased by using the double-row technique, resulting in more footprint coverage compared to patterns utilizing the single-row techniques. These results support the use of the more complex arthroscopic Mason-Allen stitches and may improve the environment for healing of the repaired rotator cuff tendon.

**Keywords** Rotator cuff repair · Contact pressure · Double-row · Single-row · Sheep shoulder

#### Introduction

The repair of the rotator cuff remains a challenge, because structural failure and recurrent tears are frequent postoperative problems. Based on ultrasound and MRI evaluation, re-tear rates for arthroscopic rotator cuff repair after massive rotator cuff injury have been reported to range from 30 to 94% [3, 4, 9]. This implies that current techniques fail to establish an adequate environment to facilitate healing of the tendon to the bone. The development of a fibrovascular interface between the tendon and the bone is the primary requirement for sufficient healing. With such an interface, it is possible to restore fibrocartilagenous tendon insertion [14]. It is postulated that re-establishing the anatomical configuration of the tendon-bone insertion is a key factor in optimization of this process [1]. Although most techniques may not adequately restore the native footprint area the double-row technique allows nearly 100% coverage [1]. However, the excellent initial mechanical strength and footprint coverage of the double-row technique do not guarantee clinical superiority [6, 8]. These studies show

M. H. Baums (✉) · A. Fischer · W. Schultz · H.-M. Klinger  
Department of Orthopaedic Surgery, University of Göttingen  
Medical Centre (UMG), Georg-August-University, Postfach,  
37099 Göttingen, Germany  
e-mail: mbaums@t-online.de

G. Spahn  
Clinic of Orthopaedic Surgery and Traumatology Eisenach,  
Eisenach, Germany

H. Steckel  
Department of Orthopaedic Surgery, Park-Klinik Weissensee,  
Berlin, Germany

Published online: 21 March 2009

 Springer

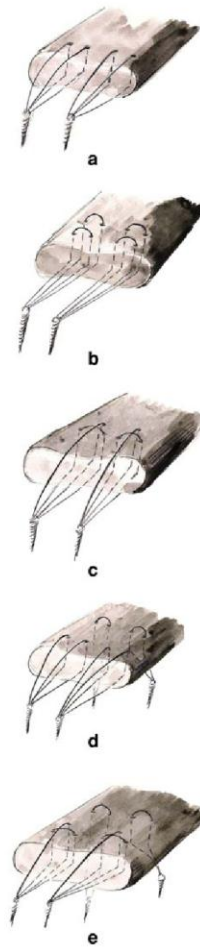
that merely covering the anatomical footprint area does not lead to better results compared to alternative repair techniques, e.g. a single-row of anchors. Therefore, it must be determined whether there is a repair technique that achieves sufficient contact pressure to minimize motion between the tendon and its insertion site, thus optimizing the healing process.

In light of this, the objective of our study was to determine the initial contact pressure over a defined rotator cuff footprint using different arthroscopic repair and stitch techniques in an established animal model. We hypothesized that arthroscopic Mason-Allen stitches in a single-row configuration would result in similar contact pressure to that yielded by a double-row repair using a combination of arthroscopic Mason-Allen and horizontal mattress stitches.

**Materials and methods**

Forty sheep shoulders (specimen age, 2 years) were freshly harvested, wrapped in saline-soaked gauze, and stored frozen at  $-20^{\circ}\text{C}$  [2, 15, 30]. Shoulders were dissected from all of the soft tissues except for the infraspinatus muscle and tendon. No pre-existing rotator cuff abnormalities were noted in any of the specimens. The infraspinatus tendon was sharply detached from its insertion site to mimic a full-thickness tear, as established in previous investigations at our institution [2, 15]. Right and left shoulders were randomly assigned among five treatment groups. We used nonabsorbable suture anchors (SUPER REVO<sup>®</sup> Suture Anchor, ConMed Linvatec, Largo, FL) coupled with braided nonabsorbable polyester suture sized USP No. 2 (Ethibond<sup>®</sup>; Ethicon, Sommerville, NJ). The groups were as follows (Fig. 1a–e):

- Single-row anchor-simple (SRA-s): simple stitch repair using one line of two double-loaded suture anchors.
- Single-row anchor-mattress (SRA-m): horizontal mattress stitch repair using one line of two double-loaded suture anchors.
- Single-row anchor-arthroscopic Mason-Allen (SRA-ama): arthroscopic Mason-Allen stitch repair using one line of two double-loaded suture anchors.
- Double-row anchor-simple mattress (DRA-sm): a combination of simple (lateral/double-loaded) and horizontal mattress stitches (medial/single-loaded) repair using two lines with a total of four suture anchors.
- Double-row anchor-arthroscopic Mason-Allen mattress (DRA-amam): a combination of arthroscopic Mason-Allen (lateral/double-loaded) and horizontal mattress stitches (medial/single-loaded) repair using two lines with a total of four suture anchors.



**Fig. 1** Schematic line drawing of the used repair techniques. **a** One line of two double-loaded suture anchors using simple stitches (SRA-s). **b** One line of two double-loaded suture anchors using horizontal mattress stitches (SRA-m). **c** One line of two double-loaded suture anchors using arthroscopic Mason-Allen stitches (SRA-ama). **d** Two lines with a total of four suture anchors using a combination of simple (lateral/double-loaded) and horizontal mattress stitches (medial/single-loaded) (DRA-sm). **e** Two lines with a total of four suture anchors using a combination of arthroscopic Mason-Allen (lateral/double-loaded) and horizontal mattress stitches (medial/single-loaded) (DRA-amam)

In a pilot study the footprint area of the infraspinatus tendon averaged  $1 \times 2$  cm. Therefore, a template was prepared beforehand to facilitate standardized insertion of the suture anchor systems. After using a cannulated tap to prepare the bone each anchor system was placed over a guidewire according to the manufacturer guidelines. Then, the anchor was inserted into the bone at a  $45^\circ$  angle where the eyelets were flush with the bone [5]. Afterwards the tendon was reattached to its insertion site. No pretension was applied to the tendon during repair. To simulate an arthroscopic setting all anchor system insertion steps, as well as suture passing, were performed with instruments for arthroscopic repair (Spectrum tissue repair system, ConMed Linvatec, Largo, FL) [2]. In addition, the procedure was performed utilizing an arthroscopic knot-tying technique with use of an arthroscopic knot pusher. Each stitch was first tied with a sliding double half-hitch knot, secured by a series of four reversing half-hitches on alternative posts. To standardize tension for the repair, no less than 4 kg of tensile force was used to secure each knot. This was measured by a tensiometer. The dissections, preparations, and repairs were performed by a single experienced shoulder surgeon (MHB) after thawing the shoulders for 24 h at room temperature. Standard procedures for rotator cuff repairs were used to minimize technical variability.

#### Experimental testing

The investigations were performed at room temperature using a pressure-sensitive film system (Prescale film, Super Low Pressure type, Fuji Photo Film Co Ltd, Tokyo, Japan). This allowed measurement of the interface contact pattern as well as of the contact pressure between the infraspinatus tendon and the insertion site. The used Prescale film is two-sheet (composed of an A- and C-film) and detects a pressure range between 0.50 and 2.50 MPa. The A-film is coated with micro-encapsulated colour-forming material, while the C-film is coated with colour-developing material. When pressure is applied, the microcapsules break and the colour-forming material reacts with the colour-developing material to generate colour. The microcapsules are designed to react incrementally to the level of pressure; thus the colour density corresponds to the level of pressure.

The pressure-sensitive film was cut in a standardized fashion for all specimens to conform to the  $1 \times 2$  cm footprint. Then, the film was placed under the prepared template so that we could prepare uniform and symmetric holes on both film sheets. The pressure sensitive film was sealed in an impermeable polyethylene sheet. After insertion of the suture anchor systems, the film was inserted between the tendon-bone interfaces. We kept the

film dry by continually using gauze to absorb the moisture from the tendon and the bone. The sutures connecting tendon to bone were carefully passed through the prepared holes to allow the best possible panoramic view of the contact pressure and pressure pattern. After the repair, the film was left in place for 2 min, as recommended by the manufacturer. Sutures were then carefully cut, and the film was scanned with a Fuji Film Prescale Pressure Densitometer (FDP-305E, Fuji Photo Film Co. Ltd). The average contact pressure and pressure pattern were recorded.

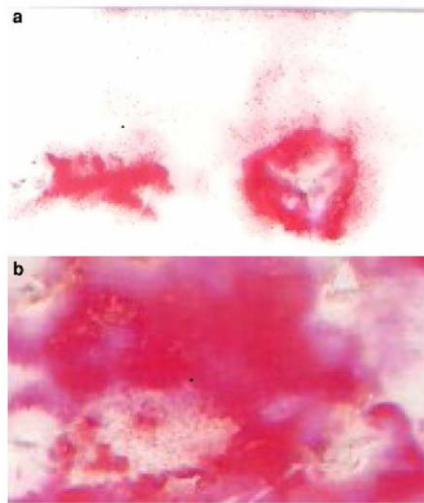
#### Statistical analysis

Statistical analysis was performed using SPSS software (Rel. 13.0, SPSS, Chicago, IL). The average contact pressure was subjected to analysis of variance (ANOVA). Results are reported as mean values  $\pm$  standard deviation. The level of significance was set at  $P < 0.05$ .

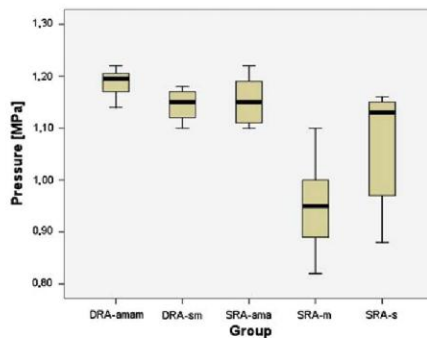
#### Results

As expected, the double-row techniques (DRA-sm, DRA-amam) maintained better contact with the insertion area than the single-row techniques (SRA-s, SRA-m, SRA-ama). However, the pressure around the insertion of each anchor system was higher than in the area between the anchor systems (Fig. 2a, b). The infraspinatus tendon using the single-row simple stitch repair consisting of one line of two double-loaded suture anchors (SRA-s) resulted in a mean contact pressure of  $1.07 \pm 0.11$  MPa applied on the footprint area. On the other hand, the single-row repair performed with horizontal mattress stitches (SRA-m) exerted the lowest contact pressure on the footprint ( $0.95 \pm 0.09$  MPa). The highest contact pressure of the single-row techniques used was  $1.15 \pm 0.05$  MPa exerted by the arthroscopic Mason-Allen stitches (SRA-ama). In comparison, the contact pressures between SRA-s and SRA-m were not statistically different ( $P > 0.05$ ). The use of arthroscopic Mason-Allen stitches (SRA-ama) produced the highest contact pressure of all single-row techniques ( $P < 0.05$ ).

The double-row repair, utilizing two lines with a total of four suture anchors using a combination of simple and horizontal mattress stitches (DRA-sm) produced a contact pressure of  $1.15 \pm 0.03$  MPa over the footprint. The double-row technique performed with a combination of arthroscopic Mason-Allen and horizontal mattress stitches (DRA-amam) applied a contact pressure of  $1.19 \pm 0.03$  MPa ( $P < 0.05$ ). The DRA-amam exerted a significantly higher contact pressure compared to the SRA-ama ( $P < 0.05$ ). Results are summarised in Fig. 3.



**Fig. 2** Typical pressure pattern of a (a) single- (SRA-ama) and (b) double-row (DRA-amam) repair. Contact pattern between the anchors could be increased by the double-row technique, resulting in more footprint coverage. The pressure around the insertion of each anchor system was higher than in the area between the anchor systems as represented by the colour density



**Fig. 3** Mean pressure distributions of the evaluated repair techniques. Contact pressure was lowest in SRA-m and SRA-s. SRA-ama showed highest contact pressure of all single-row treatment groups ( $P < 0.05$ ). DRA-amam presented the highest overall contact pressure ( $P < 0.05$ ), whereas DRA-sm exerted contact pressure equal to that of SRA-ama ( $P > 0.05$ )

**Discussion**

The most important finding of the present study was that the double-row repair techniques exerted the highest contact pressure. We did not confirm our hypothesis that double-row repair using a combination of arthroscopic Mason-Allen and horizontal mattress stitches (DRA-amam) would provide a similar contact pressure to arthroscopic Mason-Allen stitches in a single-row configuration (SRA-ama). However, the outcome for SRA-ama ( $1.15 \pm 0.05$  MPa) was similar to that obtained for DRA-sm ( $1.15 \pm 0.03$  MPa) ( $P > 0.05$ ).

Recent studies have documented the mechanical characteristics of several rotator cuff repair techniques [2, 13–20, 22, 23, 26] with excellent results for the double-row repair [2, 16, 18, 19]. Nonetheless, its clinical superiority remains to be proven. A prospective MRI follow-up evaluation failed to reveal any significant differences between double- and single-row techniques [6], whereas a computed tomographic arthrography investigation demonstrated better tendon healing results of the double-row repair [8]. In addition, the results of clinical assessments were similar to the single- and double-row groups. Cummins et al. [7] showed that not only the number of suture anchor systems, but also the configuration of the sutures in the soft tissue, is an important determinant in the success or failure of the repair. Arthroscopic techniques for rotator cuff repair usually rely upon easier-to-perform simple (Fig. 1a) or horizontal mattress stitches (Fig. 1b) fixed with suture anchors. However, these stitches prevent formation of a firm tendon-bone construct, especially in comparison to the modified Mason-Allen transosseous suture technique [7]. Scheibel and Habermeyer [25] performed an arthroscopic Mason-Allen technique for suture anchor repair. The technique consists of horizontal mattress and single stitches travelling through the same anchor (Fig. 1c). In a recent study, we demonstrated the superior strength of this stitch technique compared to the modified Mason-Allen transosseous suture technique [15].

Several studies have demonstrated the influence of tendon-to-bone interface pressure on tendon biology, especially for anterior cruciate ligament reconstruction [11, 12, 29]. Our review of the literature revealed few papers examining the contact pressures exerted by different rotator cuff repair techniques [20–22, 27]. In a recent study, Nelson et al. [20] found that a double-row repair using a medial row mattress suture and a lateral row simple suture configuration yields a significantly larger repair area compared to a single-row repair using arthroscopic Mason-Allen stitches. Contact pressure was not evaluated in this study.

Park et al. [22] assigned 25 fresh-frozen bovine shoulders to three repair techniques: (1) a transosseous tunnel



simple suture technique, (2) a suture anchor technique performed with simple stitches, (3) and a suture anchor technique performed with mattress stitches. The transosseous tunnel technique created significantly more contact and overall pressure distribution over a defined footprint compared to both of the suture anchor techniques. The authors hypothesized that stronger and faster rotator cuff healing may be expected for the best possible pressure distributions of the repaired tendon-bone interface. In contrast, Tuoheti et al. [27] showed that double-row repair in ten cadaveric shoulder specimens created the greatest contact area and second-highest contact pressure, whereas the transosseous technique produced the second-greatest footprint but the least contact pressure. Single-row repair showed the highest contact pressure and the least contact area. The authors concluded that the double-row suture anchor repair and the transosseous technique may provide a better environment for tendon healing compared to the single-row repair. Park et al. [21] demonstrated that a 4-suture bridge technique yielded a significantly higher contact area and interface pressure than double-row and 2-suture-bridge techniques. The suture-bridge technique is transosseous-equivalent and consists of a medial row of anchor systems. The repair is secured by placing drill holes and fixed with suture bridges. The authors conclude that this technique may lead to further improvement in the repair of rotator cuff tears.

Despite the importance of stitch techniques for mechanical strength of the repaired tendon-bone interface, no study had investigated the contact pressure and pressure patterns with consideration of commonly used stitch techniques. Our study shows that, in combination with arthroscopic Mason-Allen stitches, the average contact pressures of the more complex single- and double-row techniques were greater than those of repair techniques using simple and horizontal mattress stitches. On the other hand, the contact pattern between the anchors could be increased by the double-row technique, resulting in more footprint coverage than is observed for single-row techniques [27].

Our investigation presents some weaknesses only visible in application of these theoretical models to practical situations. Although our animal model is well established for research of rotator cuff repair techniques [2, 10, 14, 15], it remains an approximation to the human condition and clinically used arthroscopic repair techniques. But due to space limitations inherent to the anatomy of a sheep shoulder an all-arthroscopic repair of the rotator cuff is nearly impossible. Therefore, the reconstructions were done in an open fashion with use of instruments for arthroscopic repair. In addition, we did not analyse the surface area but the contact pressure between the tendon and the bone lone.

Furthermore, although great care was taken to minimize interference when preparing holes in the film, the process may have yielded some artefacts. However, it would be impossible to obtain the entire contact pressure distribution and pressure pattern of the investigated techniques if pressure-sensitive film was only inserted between the tendon-bone interface, particularly with regard to the different stitch techniques. Using pressure-sensitive film that detects a pressure range between 0.50 and 2.50 MPa may have underestimated the contact area [27].

The double-row technique displayed excellent initial mechanical strength [2, 13, 16, 18, 19] and pressure distribution [27] but demands critical discussion. It is a more complex method and requires more surgical time compared to single-row of treatment. It requires careful suture management and a safe command level, especially for arthroscopic repair, and produces more costs in suture anchor material. Additionally, the results of our study show an almost equal contact pressure when comparing the more complex arthroscopic Mason-Allen stitch technique in a single-row configuration (SRA-ama) to a double-row configuration utilizing simple/mattress stitches (DRA-sm). Beyond this consideration we do not know the optimal pressure range for the tendon to heal to the bone. In particular, the depth of anchor placement and thickness of the tendon appear to determine the amount of compression that a suture anchor system can provide [21]. Therefore, low pressure may cause separation of the tendon-bone interface, whereas high pressure may affect the vascularisation of the tendon and result in impaired tissue healing. Thus, the mechanical strength and suture anchor placement of a double-row repair may produce more tension on the tendon and impact vascularisation.

Considering the outcome of recent clinical and basic trials, further research is necessary to optimize restorations of the rotator cuff footprint and to achieve lower failure rates. In particular, the widely used suture bridge technique will be evaluated in further studies. Successful rotator cuff surgery demands enormous costs [24, 28]; failure increases costs exponentially. The double-row repair will be more expensive than previous repair techniques and currently garner equivalent clinical outcomes [6, 8]. In an effort to maximize success of these new techniques, it would be beneficial to measure the real-time pressure distributions because we do not know whether the contact pressure and contact pattern may change under dynamic loading conditions.

## Conclusion

In conclusion, the fundamental results of our study support the use of more complex stitch techniques (e.g. arthroscopic Mason-Allen stitches) as opposed to simple/mattress

stitches in order to obtain higher contact pressure of the tendon on the footprint surface, thus optimizing the healing process. Due to biomechanical characteristics, the double-row technique combined with this stitch configuration may provide an environment conducive to the primary stability of this repair [2]. We anticipate the results of further in vivo investigations regarding cell biological characteristics and the extent to which the conclusions of our ex vivo study may contribute to improved healing of the repaired rotator cuff.

**Acknowledgments** The work was founded by the Research Program, University of Göttingen Medical Centre (UMG), Georg-August-University, Germany. The authors acknowledge Mrs. G. Wolf-Bergk for creating the anatomical line drawings in this report.

**Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Noncommercial License which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author(s) and source are credited.

**References**

1. Apreleva M, Özbaydar M, Fitzgibbons PG, Warner JJP (2002) Rotator cuff tears: the effect of the reconstruction method on three-dimensional repair site area. *Arthroscopy* 18:519–526
2. Baums MH, Buchhorn GH, Spahn G, Poppendieck B, Schultz W, Klinger HM (2008) Biomechanical characteristics of single-row repair in comparison to double-row repair with consideration of the suture configuration and suture material. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16:1052–1060
3. Bishop J, Klepps S, Lo IK, Bird J, Gladstone JN, Flatow EL (2006) Cuff integrity after arthroscopic versus open rotator cuff repair: a prospective study. *J Shoulder Elbow Surg* 15:290–299
4. Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG (2005) Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? *J Bone Joint Surg Am* 87-A:1229–1240
5. Burkhart SS (1995) The deadman theory of suture anchors: observations along a south Texas fence line. *Arthroscopy* 11:119–123
6. Charousset C, Grimberg J, Duranthon LD, Bellaiche L, Petrover D (2007) Can a double-row anchorage technique improve tendon healing in arthroscopic rotator cuff repair? A prospective, non-randomized, comparative study of double-row and single-row anchorage techniques with computed tomography arthrography tendon healing assessment. *Am J Sports Med* 35:1247–1253
7. Cummins CA, Murrell GA (2003) Mode of failure for rotator cuff repair with suture anchors identified at revision surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 12:128–133
8. Franceschi F, Ruzzino L, Longo UG, Martina FM, Zobel BB (2007) Equivalent clinical results of arthroscopic single-row and double-row suture anchor repair for rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 35:1254–1260
9. Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K (2004) The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 86-A:219–224
10. Gerber C, Schneeberger AG, Beck M, Schlegel U (1994) Mechanical strength of repairs of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br* 76-B:371–380

11. Goradia VK, Rochat MC, Kida M, Grana WA (2000) Natural history of hamstring tendon autograft used for anterior cruciate ligament reconstruction in a sheep model. *Am J Sports Med* 28:40–46
12. Katsuragi R, Yasuda K, Tsujino J, Keira M, Kaneda K (2000) The effect of nonphysiologically high initial tension on the mechanical properties of in situ frozen anterior cruciate ligament in a canine model. *Am J Sports Med* 28:47–56
13. Kim DH, ElAttrache NS, Tibone JE, Jun BJ, DeLaMora SN, Kvitne RS, Lee TQ (2005) Biomechanical comparison of a single-row versus double-row suture anchor technique for rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 34:407–414
14. Klinger HM, Koelling S, Baums MH, Kahl E, Steckel H, Smith MM, Schultz W, Miosge N (2008) Cell biological and biomechanical evaluation of two different fixation techniques for rotator cuff repair. *Scand J Med Sci Sports* Apr 6 (Epub ahead of print). doi:10.1111/j.1600-0838.2008.00791.x
15. Klinger HM, Steckel H, Spahn G, Buchhorn GH, Baums MH (2007) Biomechanical comparison of double-loaded suture anchors using arthroscopic Mason-Allen stitches versus traditional transosseous suture technique and modified Mason-Allen stitches for rotator cuff repair. *Clin Biomech* 22:106–111
16. Ma CM, Comerford L, Wilson J, Puttitz CM (2006) Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff repairs: double-row compared with single-row fixation. *J Bone Joint Surg Am* 88-A:403–410
17. Mahar A, Tamborlane J, Oka R, Esch J, Pedowitz RA (2007) Single-row suture anchor repair of the rotator cuff is biomechanically equivalent to double-row repair in a bovine model. *Arthroscopy* 23:1265–1270
18. Meier SW, Meier JD (2006) The effect of double-row fixation on initial repair strength in rotator cuff repair: a biomechanical study. *Arthroscopy* 22:1168–1173
19. Milano G, Grasso A, Zarelli D, Deriu L, Cillo M, Fabbriani C (2008) Comparison between single-row and double-row rotator cuff repair: a biomechanical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16:75–80
20. Nelson CO, Sileo MJ, Grossman MG, Serra-Hsu F (2008) Single-row modified Mason-Allen versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a biomechanical and surface area comparison. *Arthroscopy* 24:941–948
21. Park MC, ElAttrache NS, Tibone JE, Ahmad CS, Jun BJ, Lee TQ (2007) Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous-equivalent rotator cuff repair technique compared with a double-row technique. *J Shoulder Elbow Surg* 16:461–468
22. Park MC, Cadet ER, Levine WN, Bigliani LU, Ahmad CS (2005) Tendon-to-bone pressure distributions at a repaired rotator cuff footprint using transosseous suture and suture anchor fixation techniques. *Am J Sports Med* 33:1154–1159
23. Petit CJ, Boswell R, Mahar A, Tasto J, Pedowitz RA (2003) Biomechanical evaluation of a new technique for rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 31:849–853
24. Savoie FH 3rd, Field LD, Jenkins RN (1995) Cost analysis of successful rotator cuff surgery: an outcome study. A comparison of gatekeeper system in surgical patients. *Arthroscopy* 11:672–676
25. Scheibel MT, Habermeyer P (2003) A modified Mason-Allen technique for rotator cuff repair using suture anchors. *Arthroscopy* 19:330–333
26. Schneeberger AG, von Roll A, Kalberer F, Jacob HA, Gerber C (2002) Mechanical strength of arthroscopic rotator cuff repair techniques: an in vitro study. *J Bone Joint Surg Am* 84-A:2152–2160
27. Tuoheti Y, Itoi E, Yamamoto N, Seki N, Abe H, Minagawa H, Okada K, Shimada Y (2005) Contact area, contact pressure, and

 Springer

pressure patterns of the tendon-bone interface after rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 33:1869–1874

28. Vitale MA, Vitale MG, Zivin JG, Braman JP, Bigliani LU, Flatow EL (2007) Rotator cuff repair: an analysis of utility scores and cost-effectiveness. *J Shoulder Elbow Surg* 16:181–187
29. Weiler A, Hoffmann RFG, Bail HJ, Rehm O, Südkamp NP (2002) Tendon healing in a bone tunnel, part II: histologic

analysis after biodegradable interference fir fixation in a model of anterior cruciate ligament reconstruction in sheep. *Arthroscopy* 18:124–135

30. Woo SL, Orlando CA, Camp JF, Akeson WH (1986) Effects of postmortem storage by freezing on ligament tensile behaviour. *J Biomech* 19:399–404

## **8 Literaturverzeichnis**

**Ahmad CS, Stewart AM, Izquierdo R, Bigliani LU (2005):**

Tendon-Bone interface motion in transosseous suture and suture Anchor Cuff Repair Techniques.

Am J Sports Med 33, 1667-1671

**Amüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F:**

Anatomie

1. Auflage; Duale Reihe, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2007

**Apreleva M, Özbaydar M, Fitzgibbons PG, Warner JJP (2002):**

Rotator cuff tears: The effect of the reconstruction method on three-dimensional repair site area.

Arthroscopy 18, 519-526

**Baleani M, Ohmann C, Guandalini L, Rotini R, Giavaresi G, Traina F, Viceconti M (2006):**

Comparative study of different tendon grasping techniques for arthroscopic repair of the rotator cuff.

Clin Biomech 21, 799-803

**Bassett RW, Cofield RH (1983):**

Acute tears of the rotator cuff. The timing of surgical repair.

Clin Orthop Rel Res 175, 18-24

**Bateman J E (1963):**

The diagnosis and treatment of ruptures of the rotator cuff.

Surg Clin North Am 43, 1523-1530

**Baums MH:**

Die anatomische Rekonstruktion der Rotatorenmanschette -  
eine biomechanische und morphometrische Untersuchung der primären  
Sehnen-Knochen-Verbindung

Kumulative Habilitationsschrift, Göttingen 2009

**Baums MH, Buchhorn GH, Spahn G, Poppendiek B, Schultz W, Klinger  
HM (2008):**

Biomechanical characteristics of single-row repair in comparison to double-row repair with consideration of the suture configuration and suture material.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 16, 1052-1060

**Baums MH, Spahn G, Steckel H, Fischer A, Schultz W, Klinger HM  
(2009):**

Comparative evaluation of the tendon-bone interface contact pressure in different single-versus double-row suture anchor repair technique.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 17, 1466-1472

**Baums MH, Geyer M, Büschken M, Buchhorn GH, Spahn G, Klinger  
HM (2010):**

Tendon-bone contact pressure and biomechanical evaluation of a modified suture-bridge technique for rotator cuff repair.

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 18, 992-998

**Baums MH, Spahn G, Buchhorn GH, Schultz W, Hofmann L, Klinger HM (2012):**

Biomechanical and magnetic resonance imaging evaluation of a single- and double-row rotator cuff repair in an in vivo sheep model.

Arthroscopy 28, 769-777

**Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG (2005):**

Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal?

J Bone Joint Surg Am 87, 1229-1240

**Bokor DJ, Hawkins RJ, Huckell GH, Angelo RL, Schickendantz MS (1993):**

Results of nonoperative management of full-thickness tears of rotator cuff.

Clin Orthop Rel Res 294, 103-110

**Brady PC, Arrigoni P, Burkhart SS (2006):**

Evaluation of residual rotator cuff defects after in vivo single- versus double-row rotator cuff repairs.

Arthroscopy 22, 1070-1075

**Burkhart SS (1995):**

The deadman theory of suture anchors: observation along a south Texas fence line.

Arthroscopy 11, 119-123

**Burkhart SS, Diaz Pagan JL, Wirth MA, Athanasiou KA (1997):**

Cyclic loading of anchor based rotator cuff repair: confirmation of the tension overload phenomenon and comparison of suture anchor fixation with transosseous fixation.

Arthroscopy 13, 720-724

**Charousset C, Grimberg J, Duranthon LD, Bellaiche L, Petrover D (2007):**

Can a double-row anchorage technique improve tendon healing in arthroscopic rotator cuff repair? A prospective, nonrandomized, comparative study of arthrography tendon assessment.

Am J Sports Med 35, 1247-1253

**Charousset C, Grimberg J, Duranthon LD, Bellaïche L, Petrover D, Kalra K (2008):**

The time for functional recovery after arthroscopic rotator cuff repair: correlation with tendon healing controlled by computed tomography arthrography.

Arthroscopy 24, 25-33

**Chung SW, Oh JH, Gong HS, Kim JY, Kim SH (2011):**

Factors affecting rotator cuff healing after arthroscopic repair: osteoporosis as one of the independent risk factors.

Am J Sports Med 39, 2099-2107

**Cofield RH, Parvizi J, Hoffmeyer PJ, Lanzer WL, Ilstrup DM, Rowland CM (2001):**

Surgical repair of chronic rotator cuff tears.

J Bone Surg Am 83, 71-77

**Cummins CA, Murell GA (2003):**

Mode of failure for rotator cuff repair with suture anchor identified at revision surgery.

J Shoulder Elbow Surg 12, 128-133

**Deutsch A, Altchek DW, Veltri WM, Potter HG, Warren RF (1997):**

Traumatic tears of the subscapularis tendon. Clinical diagnosis, magnetic resonance imaging findings, and operative treatment.

Am J Sports Med 25, 13-22

**Djurasovic M, Marra G, Arroyo JS, Pollock RG, Flatow EL, Bigliani LU (2001):**

Revision rotator cuff repair: factors influencing results.

J Bone Joint Surg Am 83, 1849-1855

**Ellman H (1990):**

Diagnosis and treatment of incomplete rotator cuff tears.

Clin Orthop Rel Res 254, 64-74

**Fealy S, Kingham TP, Altcheck DW (2002):**

Mini-open rotator cuff repair using a two-row fixation technique: outcomes analysis in patients with small, moderate and large rotator cuff tears.

Arthroscopy 18, 665-670

**France EP, Paulos LE, Harner CD, Straight CB (1989):**

Biomechanical evaluation of rotator cuff fixation methods.

Am J Sports Med 17, 176-181

**Fuchs B, Weishaupt D, Zanetti M, Hodler J, Gerber C (1999):**

Fatty degeneration of the muscles of the rotator cuff: assessment by computed tomography versus magnetic resonance imaging.

J Shoulder Elbow Surg 8, 599-605

**Galatz LM, Ball GM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K (2004):**

The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears.

J Bone Joint Surg Am 86, 219-224

**Gerber C, Schneeberger AG, Beck M, Schlegel U (1994):**

Mechanical strength of repairs of the rotator cuff.

J Bone Joint Surg Br 76, 371-380



**Gerber C, Meyer DC, Schneeberger AG, Hoppeler H, von Rechenberg B (2004):**

Effect of tendo release and delayed repair on structure of the muscles of the rotator cuff : an experimental study in sheep.

J Bone Joint Surg Am 86,1973-82

**Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M (2012):**

Arthroscopic single-row modified mason-allen repair versus double-row suture bridge reconstruction for supraspinatus tendon tears: a matched-pair analysis.

Am J Sports Med 40, 2777-2785

**Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC (1994):**

Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre-and post-operative evaluation by CT scan.

Clin Orthop Relat Res 304, 78-83

**Habermeyer P:**

Schulterchirurgie

3.Auflage, Urban und Fischer Verlag, München 2002

**Hata Y, Saitoh S, Murakami N, Kobayashi H, Takaoka K (2004):**

Atrophy of deltoid muscle following rotator cuff surgery.

J Bone Joint Surg Am 86, 1414-1419

**Ji JH, Shafi M, Kim WY, Kim YY (2010):**

Clinical outcomes of arthroscopic single and double row repair in full thickness rotator cuff tears.

Indian J Orthop 44, 308-13

**Kim DH, ElAttrache NS, Tibone JE, Jun BJ, DeLaMora SN, Kvitne RS, Lee TQ (2005):**

Biomechanical comparison of a single-row versus double-row suture anchor technique for rotator cuff repair.

Am J Sports Med 34, 407–414

**Kim KC, Shin HD, Lee WY (2012):**

Repair integrity and functional outcomes after arthroscopic suture-bridge rotator cuff repair.

J Bone Joint Surg Am 18, 94-98

**Klinger HM, Steckel H, Spahn G, Buchhorn GH, Baums MH (2007):**

Biomechanical comparison of double-loaded suture anchors using arthroscopic rotator cuff repair Mason-Allen stitches versus traditional transosseous suture technique and modified Mason- Allen stiches for rotator cuff repair.

Clin Biomech 22, 106-111

**Mazzocca AD, Millet PJ, Guanche CA, Santangelo SA Arciero RA (2005):**

Arthroscopic single-row versus double-row suture anchor rotator cuff repair.

Am J Sports Med 33, 1861-1868

**McFarland E G, Park H B, Keyurapan E, Gill H S, Selhi H S (2005):**

Suture Anchor and Tacks for Shoulder Surgery, Part 1.

Am J Sports Med 33, 1918-1923

**Meier SW, Meier JD (2006):**

The effect of double-row fixation on initial repair strength in rotator cuff repair: a biomechanical study.

Arthroscopy 22, 1168-1173

**Nakajima T, Rokuuma N, Hamada K, Tomatsu T, Fukuda H (1994):**

Histological and biomechanical characteristics of the supraspinatus tendon: Reference to rotator cuff tearing.

J Shoulder Elbow Surg 3, 79-87

**Nebelung W, Wiedemann E:**

Schulterarthroskopie

1. Auflage; Springer Verlag, Berlin 2002

**Neer CS II, Poppen NK (1987):**

Supraspinatus outlet.

Orthop Trans 11, 234

**Nelson CO, Sileo MJ, Grossman MG, Serra-Hsu F (2008):**

Single-row modified Mason-Allen versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a biomechanical and surface area comparison.

Arthroscopy 24, 941-948

**Niethard F, Pfeil J, Biberthaler P:**

Orthopädie und Unfallchirurgie

6. Auflage; Duale Reihe, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2009

**Ozaki J, Fujimoto S, Nakagawa Y, Masuhara K, Tamai S (1988):**

Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavers.

J Bone Joint Surg Am 70, 1224-1230

**Park MC, Cadet ER, Levine WN, Bigliani LU, Ahmad CS (2005):**

Tendon-to-bone pressure distributions at a repaired rotator cuff footprint using transosseous suture and suture anchor fixation techniques.

Am J Sports Med 33, 1154–1159

**Park MC, Elattrache NS, Ahmad CS, Tibone JE (2006):**

"Transosseous-equivalent" rotator cuff repair technique.

Arthroscopy 22, 1360.e1-1365.e5

**Park MC, El Attrache NS, Tibone JE, Ahmad CS, Jun BJ, Lee TQ (2007):**

Part I: Footprint contact characteristics for a transosseous equivalent rotator cuff repair technique compared with a double row technique.

J Shoulder Elbow Surg 16, 461–468

**Parsons BO, Gruson KI, Chen DD, Harrison AK, Gladstone J, Flatow EL (2010):**

Does slower rehabilitation after arthroscopic rotator cuff repair lead to long-term stiffness?

J Shoulder Elbow Surg 19, 1034-1039

**Patte D (1990):**

Classification of Rotator Cuff Lesions.

Clin Orthop Rel Res 254, 81-86

**Scheibel MT, Habermeyer P (2003):**

A modified Mason-Allen technique for rotator cuff repair using suture anchors.

Arthroscopy 19, 330–333

**Schneeberger AG, von Roll A, Kalberer F, Jacob HA, Gerber C (2002):**

Mechanical strength of arthroscopic rotator cuff repair techniques: an in vitro study.

J Bone Joint Surg Am 84, 2152–2160

**Schünke M, Schulte E, Schumacher U:**

Prometheus Lernatlas der Anatomie. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem

1. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005

**Smith CD, Alexander S, Hill AM, Huijsmans PE, Bull AMJ, Amis AA, Beer JF, Wallace AL (2006):**

A biomechanical comparison of single and double-row fixation in arthroscopic rotator cuff repair.

J Bone Joint Surg Am 88, 2425-2431

**Snyder S J (1993):**

Evaluation And Treatment Of The Rotator Cuff.

Orthop Clin North Am, 24: 173-192

**St. Pierre P, Olson EJ, Elliot JJ, O`Hair KC, McKinney LA, Ryan J (1995):**

Tendon-Healing To Cortical Bone Compared With Healing To A Cancellous Trough.

J Bone Joint Surg Am 77, 1858-1866

**Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J (2005):**

Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation.

Arthroscopy 21, 1307-1316

**Tuoheti Y, Itoi E, Yamamoto N, Seki N, Abe H, Minagawa H, Okada K, Shimada Y (2005):**

Contact area, contact pressure, and pressure patterns of the tendon-bone interface after rotator cuff repair.

Am J Sports Med 33, 1869-1874

**Uhthoff HK, Sarkar K (1991):**

Surgical repair of rotator cuff ruptures. The importance of the subacromial bursa.

J Bone Joint Surg Br 73, 399-401

**Wakabayashi I, Itoi E, Sano H, Shibuya Y, Sashi R, Minagawa H Kobayashi M (2003):**

Mechanical environment of the supraspinatus tendon: a two dimensional finite element model analysis.

J Shoulder Elbow Surg 12, 612-617

**Wiedemann E, Biberthaler P, Hinterwimmer S (2004):**

Anatomie und Einheilung der Rotatorenmanschettendefekte.

Arthroskopie 17, 17-26

**Yamanaka K, Matsumoto T (1994):**

The joint side tear of rotator cuff. A follow up study by arthrography.

Clin Orthop Relat Res 304, 68-73

## **Danksagung**

Bedanken möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. M. Baums, der das Thema für meine Arbeit vorgeschlagen, meine Arbeit Korrektur gelesen und mich während der ganzen Zeit ausführlich beraten und unterstützt hat.



## **Lebenslauf**

Am 05.06.1984 wurde ich in Hannover geboren. Zunächst besuchte ich von 1990 bis 1994 die Grundschule und von 1994 bis 1996 die Orientierungsstufe in Altwarmbüchen im Landkreis Hannover. Anschließend wechselte ich an das Gymnasium Ricarda-Huch-Schule in Hannover und beendete dort meine schulische Ausbildung im Jahre 2003 mit dem Abitur. Im Rahmen eines Austauschjahres besuchte ich die 11. Klasse des Gymnasiums in den USA in Washington State, Olympia.

Nach dem Abitur arbeitete ich zunächst als Aushilfskraft im Pflegedienst im Clementinenkrankenhaus in Hannover. Im Rahmen dieser Tätigkeit leistete ich mein dreimonatiges Krankenpflegepraktikum für das spätere Studium ab.

Im Jahre 2004 begann ich mein Medizinstudium an der Medizinischen Fakultät Pecs in Ungarn. Nach dem Physikum 2006 wechselte ich an die Georg-August-Universität in Göttingen. Hier absolvierte ich von Oktober 2006 bis Juli 2009 den klinischen Abschnitt des Medizinstudiums.

Zum praktischen Jahr wechselte ich im Herbst 2009 an die Medizinische Hochschule in Hannover. Die einzelnen Abschnitte meines praktischen Jahres verbrachte ich in der Thorax- und Gefäßchirurgie im Krankenhaus Oststadt-Heidehaus, in der Pädiatrie im Kinderkrankenhaus Auf der Bult und in der Inneren Medizin im Agnes-Karll-Krankenhaus. Im Herbst 2010 beendete ich mein Medizinstudium mit dem Zweiten Staatsexamen. Seitdem arbeite ich als Assistenzärztin in der Kardiologie im Agnes-Karll-Krankenhaus in Hannover.