

Aus der Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Neue Aspekte in der arthroskopischen Versorgung von
Supraspinatussehnenläsionen in Ankertechnik

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Konstantin Hug

aus Oberndorf am Neckar

Datum der Promotion: 25.06.2017

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
1.1	Abstrakt	1
1.1.1	Abstrakt (deutsch)	1
1.1.2	Abstract (english)	3
1.2	Einführung	5
1.3	Zielstellung	8
1.4	Methodik	9
1.4.1	Patientenkollektiv	9
1.4.2	Nachuntersuchungen	10
1.4.3	Operative Versorgung	10
1.4.4	Rehabilitation	11
1.4.5	Statistische Analyse	12
2	Ergebnisse	13
3	Diskussion	15
4	Literaturverzeichnis	18
5	Anhang	23
5.1	Eidesstattliche Versicherung	23
5.2	Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen	24
5.3	Verwendete Publikationen	25
5.3.1	Arthroscopic Single-Row Modified Mason-Allen Repair Versus Double-Row Suture Bridge Reconstruction for Supraspinatus Tendon Tears	25
5.3.2	Arthroscopic double-row repair of the rotator cuff: a comparison of bio-absorbable and non-resorbable anchors regarding osseous reaction	35
5.3.3	Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation	44
5.4	Lebenslauf	52
5.5	Publikationsliste	53
5.6	Danksagung	55

Meiner Urgroßmutter Sophie und meiner Tochter Lena gewidmet.

1 Zusammenfassung

1.1 Abstrakt

1.1.1 Abstrakt (deutsch)

Einleitung

Die arthroskopische Versorgung von Rotatorenmanschettenläsionen hat sich in den letzten Jahren weitgehend durchgesetzt. Neben Einzelreihen- und Doppelreihenversorgungen in Ankertechnik haben sich auch knotenfreie Operationstechniken etabliert. Dabei stehen neben nicht resorbierbaren polyetheretherketonen (PEEK) Fadenankern auch bioresorbierbare poly-L-lactic acid (PLLA) Anker zur Verfügung. Ziel der eingeschlossenen Studien war der Vergleich arthroskopischer hochstabiler Einzelreihen-, Doppelreihen- und knotenfreier Operationsverfahren sowie die Untersuchung möglicher ossärer Reaktionen der Ankermaterialien mit klinischer und kernspintomografischer Patientenevaluation.

Methodik

Im Zuge der in unserer Klinik gegenwärtig angewandten Operationstechniken, beginnend mit der arthroskopisch selbstverblockenden Einzelreihennaht (modifizierte Mason-Allen-Naht) über die modifizierte Suture-Bridge-Doppelreihenversorgung bis hin zur knotenfreien Speed-Bridge-Technik, konnten die jeweiligen konsekutiven Patienten klinisch und kernspintomografisch nachuntersucht und miteinander verglichen werden. Die Patienten wurden nach 12 und 24 Monaten klinisch evaluiert, und es erfolgte eine MRT-Kontrolluntersuchung. Im Falle der Speed-Bridge-Versorgung wurde zusätzlich eine MRT-Untersuchung innerhalb von drei Wochen postoperativ durchgeführt. In der Folge konnten die Patienten mit selbstverblockender Einzelreihennaht (modifizierte Mason-Allen-Naht) mit den Patienten mit modifizierter Suture-Bridge-Versorgung verglichen werden (Publikation 1). Die Patienten, die mittels modifizierter Suture-Bridge-Technik versorgt wurden, konnten nach ihrem implantierten Ankermaterial (PLLA versus PEEK) wiederum in zwei Gruppen unterteilt und miteinander verglichen werden (Publikation 2). Anschließend wurden die Patienten der Doppelreihengruppe mit der Patientengruppe verglichen, die mit der knotenfreien Speed-Bridge-Technik behandelt wurde (Publikation 3).

Ergebnisse

In Publikation 1 konnten keine signifikanten klinischen und radiologischen Unterschiede (muskuläre Verfettung, muskuläre Atrophie) zwischen den beiden Patientengruppen nachgewiesen werden. Die Rerupturrate lag bei 31,6 % (Einzelreihentechnik) versus 25 % (Doppelreihentechnik) ohne statistische Signifikanz. Im Rerupturmuster dominiert bei der Suture-Bridge-Versorgung im Gegensatz zur Einzelreihengruppe ein mediales Versagensmuster. Publikation 2 offerierte keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der PLLA-Ankergruppe mit der PEEK-Ankergruppe in den klinischen Ergebnissen. Entgegen der Hypothese zeigten sich nicht nur im Bereich der bioresorbierbaren Anker, sondern auch bei nicht resorbierbaren PEEK-Ankern ossäre Reaktionen mit periimplantärer Flüssigkeitsansammlung und Ankerkanalerweiterung. Unabhängig vom Ankermaterial war in der lateralen Ankerreihe ein signifikant breiterer Liquidsaum im Vergleich zur medialen Reihe nachweisbar. Beim Vergleich der modifizierten Doppelreihenversorgung mit der Speed-Bridge-Technik (Publikation 3) waren keine klinischen oder radiologischen Unterschiede nachweisbar. Im Rerupturmuster wies die Speed-Bridge-Gruppe weniger mediale Versagensmuster auf (2/5 versus 4/5).

Schlussfolgerung

Alle drei miteinander verglichenen arthroskopischen Operationstechniken ermöglichen eine suffiziente Versorgung von Rotatorenmanschettenläsionen ohne den Nachweis signifikanter klinischer oder radiologischer Unterschiede. Das Ankermaterial (PLLA oder PEEK) scheint auf das klinische Ergebnis keine Auswirkungen zu haben. Die knotenfreie Speed-Bridge-Technik deutet ein verringertes Auftreten eines Medial-Cuff-Failures durch Reduktion der medialen Sehnenstrangulation im Vergleich zu geknoteten Suture-Bridge-Techniken an.

1.1 Abstract (english)

Introduction

Different techniques to treat rotator cuff tears are still matter of debate. Among single and double row treatment, knotless anchor techniques established. The aim of the included publications was to evaluate the clinical and radiological outcome of single row, double row and knotless anchor techniques in arthroscopic rotator cuff surgery.

Methods

In the course of the currently used method of surgery patients could be acquired starting with the single row modified Mason-Allen repair, followed by the double row Suture-bridge technique and the knotless Speedbridge technique. The patients were clinically and radiologically evaluated after 12 and 24 months. Patients of the Speedbridge group also received an acute MRI evaluation during the first three weeks postoperatively. Subsequently, patients received the single row treatment could be compared to the modified Suture-bridge group (publication 1). Afterwards we compared the double row Suture-bridge group with the patients of the knotless Speedbridge group (publication 3). We subdivided the patients that underwent double row Suture-bridge surgery into two more groups concerning the intraoperatively used anchor material. Thus patients with bioabsorbable PLLA-anchors and patients with nonresorbable PEEK-anchors were clinically and radiologically compared (publication 2).

Results

In publication 1 between the two groups no significant differences concerning clinical or radiological results could be detected. The integrity failure rate was 31,6% (single row) versus 25% (double row) without being statistically significant. Concerning the pattern of retear, the Suture-bridge technique offers predominantly a medial cuff failure when compared to single row modified Mason-Allen repair. Publication 3 shows no significant differences between PLLA and PEEK anchor surgery regarding clinical outcome. But contrary to expectations MRI investigation revealed osseous reaction and peri-implant fluid in both groups. Tunnel widening was significantly higher in lateral anchors irrespectively of the material used. When comparing the Speedbridge technique with double row Suture-bridge reconstruction, no significant differences were obtained regarding clinical outcome, integrity failure rate and muscular atrophy. The pattern of retear was a medial cuff failure in 2/5 cases (Suture-bridge 4/5 cases).

Conclusion

The compared arthroscopic surgery techniques represent sufficient methods to address rotator cuff tears without any differences regarding clinical outcome, muscular atrophy, fatty infiltration or integrity failure rate. Anchor material seem to be neglectable regarding clinical outcome. Knotless Speedbridge technique eliminates medial and lateral knot impingement and may reduce medial cuff failures by decreasing medial strangulation of the tendon when compared to double row Suture-bridge reconstruction.

1.2 Einführung

Rotatorenmanschettenläsionen gehören zu den häufigsten Verletzungen der Schulter und gelten als Ursache für persistierenden Schulterschmerz, Bewegungseinschränkungen und Kraftverlust. Die Prävalenz dieser Läsionen beläuft sich laut Literatur, basierend auf autoptischen Untersuchungen, auf 5 bis 39 %^{1,2}. Die Läsionen der Rotatorenmanschette sind multifaktorieller Genese³. Meist sind jedoch degenerative Veränderungen vorhanden, wie eine im Zuge des Altersprozesses fortschreitende insertionsnahe Hypovaskularität^{4,5}.

Bei erfolgloser primär konservativer Therapie besteht die Möglichkeit, die Patienten einer operativen Versorgung zuzuführen. Ziel der Operation ist die Gewährleistung einer mechanischen Stabilität im Bereich der Sehneninsertion bis zum Erfolgen einer körpereigenen Sehnen-Knochen-Heilung.

Während der letzten Jahre entwickelte sich die operative Versorgung stetig weiter. Neben offenen Techniken etablierte sich die arthroskopische Versorgung von Rotatorenmanschettenläsionen zunehmend mit vergleichbaren klinischen und radiologischen Ergebnissen⁶⁻¹⁰. Grundlage hierfür war die Schaffung geeigneter technischer Voraussetzungen zur rein arthroskopischen Therapie. So hat die Einführung der Fadenanker die arthroskopische Versorgung der Rotatorenmanschettenläsionen deutlich vereinfacht.

Die Operationen mittels Fadenankertechnik rückten mit der Zeit mehr und mehr in den Vordergrund. Nachdem sich in einer Vergleichsstudie von Bishop et al.⁶ bei größeren Rupturen zwischen 3 bis 5 cm die arthroskopische Einzelreihentechnik der offenen transossären Naht unterlegen gezeigt hatte (Rerupturrate 76 % für die Einzelreihenversorgung versus 38 % für die transossäre Technik), offenbarte dies die Notwendigkeit der Weiterentwicklung arthroskopischer Techniken.

Neben der Einzelreihentechnik mit medialer Platzierung der Fadenanker gewannen die Doppelreihentechniken zunehmend an Bedeutung. Erstmals beschrieben wurde die Technik mit der Verwendung einer medialen und lateralen Reihe von Fadenankern von Lo und Burkhart 2003¹¹. Eine Weiterentwicklung und heutzutage oftmals genutzte Technik ist die von Park 2006¹² beschriebene „Suture-Bridge-Technik“ beziehungsweise „transosseous-equivalent technique“. Hierbei wird jeweils ein Faden der medialen Fadenankerreihe nach dem Knoten einer Matratzennaht zu einer Fadenbrücke mit einem Faden des zweiten medialen Ankers übereinander gekreuzt und mit lateral platzierten knotenfreien Ankern fixiert.

In biomechanischen Studien erwiesen sich die Doppelreihentechniken der Einzelreihenversorgung bezüglich der absoluten Ausrisskräfte, verringerter Spaltbildung und besserer Konstruktstabilität sowie besserer anatomischer Sehnenansatzbedeckung als überlegen¹³⁻²⁰.

Trotz beschriebener biomechanischer Überlegenheit der Doppelreihenrekonstruktion im Vergleich zur Einzelreihenversorgung konnte in den bisherigen Untersuchungen kein signifikanter Unterschied in den klinischen Parametern aufgezeigt werden²¹⁻²⁹. Die meisten Studien verglichen aber einfache Einzelreihentechniken mit Standard-Doppelreihenversorgungen. Ein klinischer und radiologischer Vergleich einer hochstabilen, selbstverblockenden Einzelreihennaht (modifizierte Mason-Allen-Naht³⁰) mit einer hochstabilen arthroskopischen Doppelreihentechnik wurde bisher nicht durchgeführt.

Parallel zur Manifestation der arthroskopischen Versorgung der Manschettenläsionen in Ankertechnik wurden auch viele verschiedene Ankersysteme vorgestellt. Neben der Verwendung von nicht resorbierbaren Ankersystemen (polyetheretherketone; PEEK) stehen auch bioresorbierbare Fadenanker (poly-L-lactic acid; PLLA) zur Verfügung. Verschiedene Studien berichten über Schulterschmerz, Osteolysen und Arthropathie bei der Verwendung von bioresorbierbaren Ankern³¹⁻³³. Demgegenüber stehen unter anderem gleichwertige biomechanische Eigenschaften^{34,35}. Obwohl die Verwendung von abbaubaren Materialien in den letzten Jahren deutlich zunahm, ist in der Literatur wenig über deren Einfluss auf klinische und radiologische Ergebnisse zu finden.

Eine der häufigsten Komplikationen der arthroskopisch versorgten Sehnenläsionen stellen weiterhin die Rupturen dar. Die Rupturrate variiert in der Literatur abhängig von Größe und Lokalisation der Ruptur sowie der Versorgungstechnik von 20 bis 94 %^{36,37}. Zudem wird sie durch vielfältige Faktoren wie Lebensalter, Durchblutung, Retraktion und fettige Infiltration der Muskulatur beeinflusst^{38,39}.

Durch eine mögliche Strangulation der Sehne am medialen Sehnenansatz im Bereich der medialen Ankerreihe wird häufig ein mediales Versagensmuster beschrieben, die sogenannte „medial row“ bzw. die „Medial-Cuff-Failures“⁴⁰. Hier heilt die Sehne durch hohen Anpressdruck fest am knöchernen Sehnenursprung ein, versagt aber im Bereich des schwächeren muskulotendinösen Übergangs. Diese Form der Sehnenruptur stellt eine besondere

therapeutische Herausforderung dar, da eine erneute Rekonstruktion der Sehne am Footprint in der Regel nicht mehr möglich ist.

Zur Reduzierung von Operationszeit und Operationskosten entwickelten sich während der letzten Jahre arthroskopische knotenfreie Techniken. Zudem sollte hier auch einem Knotenimpingement sowie der medialen Strangulation der Sehne durch fehlende mediale Matratzennähte mit resultierenden medialen Versagensmustern entgegengewirkt werden.

1.3 Zielstellung

In Publikation 1 erfolgte erstmalig in der verfügbaren Literatur ein klinischer und radiologischer Vergleich einer hochstabilen, selbstverblockenden Einzelreihennaht (modifizierte Mason-Allen-Naht) mit einer arthroskopischen „Suture-Bridge“-Doppelreihentechnik als Matched-Pair-Analyse^{12,30}.

Publikation 2 beschäftigt sich mit dem Vergleich der knöchernen Reaktion von bioresorbierbaren PLLA (bio-absorbable poly-L-lactic acid)-Fadenankern mit nicht resorbierbaren PEEK- (polyetheretherketonen)-Ankern bei unbekanntem Einfluss der Ankersysteme auf das klinische und radiologische Ergebnis der arthroskopischen Rotatorenmanschettenversorgungen in Ankertechnik.

Publikation 3 präsentiert als erste Arbeit die klinischen und radiologischen Ergebnisse der knotenlosen Speed-Bridge-Technik mit doppelter medialer Sehnenperforation pro Anker im Vergleich zur modifizierten Suture-Bridge-Technik. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf der Evaluation der Rerupturmorphologie und der möglichen Reduktion der medialen Versagensmuster im Vergleich zur Suture-Bridge-Technik.

1.4 Methodik

1.4.1 Patientenkollektiv

Im Jahr 2005 wurde eine erste Patientenserie mit Supraspinatussehnenläsionen mittels Einzelreihentechnik und modifizierter Mason-Allen-Naht versorgt und klinisch und kernspintomografisch evaluiert³⁰. In einer weiterführenden Arbeit konnten in der Folge Patienten nachuntersucht werden, die in modifizierter Doppelreihentechnik mit medialer Matratzennaht operiert wurden^{12,19}. In diesem konsekutiven Patientenpool wurden insgesamt 54 Patienten mittels Doppelreihentechnik und 22 Patienten in Einzelreihentechnik versorgt. Eingeschlossen in die Studien wurden nur Patienten mit reparabler superiorer Manschettenruptur Grad II–III, klassifiziert nach Bateman⁴¹. Ausgeschlossen wurden Patienten mit Schultersteife, Revisionen und Patienten mit Osteoarthritis. Die Patienten aus diesen beiden Gruppen wurden in Publikation 1 nach dem Alter und Geschlecht einander im Sinne einer Matched-Pair-Analyse zugeordnet. So konnten 20 Patientenpaare gleichen Alters und Geschlechts mit jeweils different versorgter Rotatorenmanschettenläsion miteinander verglichen werden. Die Patienten wurden im Rahmen der Studie nach 12 und 24 Monaten nachuntersucht.

Die in arthroskopisch modifizierter Suture-Bridge-Technik versorgten Patienten wurden für Publikation 2 in zwei Gruppen eingeteilt: je nach Versorgung mittels bioresorbierbaren PLLA-Ankern beziehungsweise nichtresorbierbaren PEEK-Ankern. Im Verlauf der Studie konnten aus diesem Patientenpool 36 Patienten bis zum finalen Nachuntersuchungszeitpunkt evaluiert werden. Neben der klinischen Untersuchung (siehe unten) erfolgte hier primär eine radiologische Auswertung der Knochen-Ankerinteraktionen wie Liquidanreicherungen und Bohrkanalerweiterungen mittels Magnetresonanztomografie.

Weiterführend konnte unter Anwendung der Speed-Bridge-Technik mit medial getrennter Sehnenperforation pro Faden ein neuer konsekutiver Patientenpool herangezogen werden¹⁹. Nach Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden anschließend 22 Patienten evaluiert und der dritten Publikation zugeführt. Die Patienten wurden innerhalb der ersten drei Wochen postoperativ klinisch sowie radiologisch mittels Magnetresonanztomografie nachuntersucht. Zudem erfolgten weitere Nachuntersuchungen nach 12 und 24 Monaten. Die klinischen und kernspintomografischen Ergebnisse wurden anschließend mit den Ergebnissen der modifizierten Suture-Bridge-Technik verglichen. Besonderes Augenmerk lag hierbei auch auf der Auswertung des Musters der Redefekte.

1.4.2 Nachuntersuchungen

Klinische Evaluation

Zu den klinischen Nachuntersuchungen wurde eine komplette Untersuchung beider Schultern durchgeführt (ausgenommen sind hier Patienten drei Wochen postoperativ). Zudem wurden verschiedene Schulderscores zur Beurteilung der objektiven und subjektiven Schulterfunktion erhoben. Als objektiver Schulderscore wurde der Constant Score erhoben⁴². Des Weiteren wurde der „Subjective Shoulder Value (SSV)“ und der „Western Ontario Rotator Cuff Index (WORC)“ mit in die klinische Evaluation einbezogen^{43,44}.

Radiologische Evaluation

Alle Patienten aus den Publikationen erhielten magnetresonanztomografische Untersuchungen. Sie wurden nach 12 beziehungsweise 24 Monaten radiologisch nachuntersucht. Des Weiteren erhielten die Patienten in Publikation 3 innerhalb von drei Wochen eine MRT-Untersuchung.

Hierzu wurde ein 1,5-T System (Singna Twin Speed, General Electric, Milwaukee, Wisc.) benutzt. Die Schulter wurde in einer Schulderspule positioniert und der Arm in Neutralstellung gelegt. Anhand parakoronarer, protonengewichteter Schichten (PD-weighted SE sequence) wurden die Rerupturrate und die Sehnenintegrität nach Sugaya bestimmt⁴⁵. Zur Bestimmung der muskulären Atrophie nach Thomazeau wurden parasaggitale Sequenzen in T1-Wichtung angefertigt⁴⁶. Die fettige Muskelinfiltration wurde mittels semiquantitativer Signalanalyse beschrieben⁴⁷.

1.4.3 Operative Versorgung

Die Operationen wurden in Beach-Chair-Position in Intubationsnarkose durchgeführt. Die Patienten erhielten eine präoperative Antibiotikaphylaxe. Die Standardportale wurden genutzt. Nach diagnostischer Arthroskopie über das posteriore Standardportal erfolgten ein Debridement der Supraspinatussehne sowie ein Anfrischen des Sehnenansatzes im Bereich des Footprints, um hier kleinere Blutungen zu generieren.

Einzelreihenversorgung mit modifizierter Mason-Allen-Naht

Die Einzelreihenverfahren wurden mittels arthroskopisch modifizierter Mason-Allen-Naht durchgeführt³⁰. Hierzu benutzten wir doppelt beladene 5,5 mm Bio-Corkscrew-Anker (Arthrex, Naples, Florida). Die Ankerplatzierung erfolgte nahe dem osteochondralen Übergang. Für die Matratzennaht wurden zunächst beide freie Enden des ersten Fadenpaares von intraartikulär, mittels Sehnenperforationsinstrument, durch die Sehne nach subakromial transportiert. Die Fäden wurden 10 mm vom Sehnenrand und mit 10 mm Abstand zueinander platziert. Nun erfolgte eine Einzelnah mit einem freien Faden des zweiten Paares zwischen die vorherige Naht und etwa 1 bis 2 mm weiter medial. Die horizontale Matratzennaht wurde zuerst geknüpft, sodass die vertikale Einzelnah auf diese gelegt werden konnte.

Doppelreihenversorgung mit modifizierter Suture-Bridge-Technik

Für die mediale Reihe wurden zwei doppelt beladene Bio-Fadenanker benutzt. Wiederum lag die Ankerplatzierung nahe am osteochondralen Übergang, soweit wie möglich anterior und posterior, um die Kontaktzone der Sehne mit dem Footprint zu maximieren. Beide Enden von jedem Fadenpaar der Anker wurden mittels Sehnenperforationsinstrument durch die Sehne transferiert, um vier mediale Matratzennähte zu kreieren. Nach dem Knüpfen der medialen Reihe wurde mit den Fäden eine „Suture-Bridge“ über die Sehne gelegt^{12,19}. Die Fäden wurden dann lateral mit zwei knotenfreien Ankern senkrecht zur Kortikalis fixiert.

Knotenfreie Speed-Bridge-Technik mit doppelter Sehnenperforation pro Anker

Die mediale Ankerreihe besteht aus zwei 4,5 mm Bio-SwiveLock-PLLA-Ankern (Arthrex, Naples, Florida), beladen mit einem 2 mm breiten FiberTape. Diese wurden in üblicher Weise am medialen Sehnenansatz eingebracht. Mittels Sehnenperforationsinstrument wurden die Fäden durch die Sehne gelegt, wobei jedes Fadenende seine eigene Passagestelle hat. Anschließend wurden die Fäden wieder in Suture-Bridge-Konfiguration nach lateral gelegt^{12,19}. Zur lateralen Fixierung wurde das FiberTape dann mit zwei 4,75 mm knotenfreien Schraubenankern (SwiveLock, Arthrex, Naples, Florida) befestigt.

1.4.4 Rehabilitation

Die postoperative Rehabilitation verlief für alle Patienten in gleicher Weise. Die passive Mobilisation der Schulter erfolgte für sechs Wochen aus einer Schulterorthese heraus (ULTRASLING® II, DJO Global, Inc., CA). Innerhalb der ersten drei postoperativen Wochen war die passive Mobilisierung bis 60° Abduktion und 60° Anteversion limitiert. Ab der vierten

postoperativen Woche konnte das Bewegungsausmaß auf 90° Abduktion und 90° Anteversion gesteigert werden. Nach sechs Wochen erfolgten die Bewegungsfreigabe sowie der Beginn der aktiven Mobilisierung. Des Weiteren war anschließend spezifisches Training für die Rotatorenmanschette sowie den Deltamuskel indiziert.

1.4.5 Statistische Analyse

Alle statistischen Analysen wurden mit SPSS 16.0 (SPSS Inc, Chicago, Illinois) durchgeführt. Eine Analyse der Daten mittels Mann-Whitney-U-Test und eine einfaktorielles Varianzanalyse erfolgten, um Unterschiede der Gruppen in den Schulter scores zu evaluieren. Zur Darstellung der Unterschiede der muskulären Atrophie und der Sehnenintegrität konnte der Chi-Quadrat-Test herangezogen werden. Eine Post-hoc-Berechnung, basierend auf der Sehnenintegrität, wurde in Publikation 1 durchgeführt. Die Signifikanzniveaus wurden bei $p < 0,05$ angesetzt.

2 Ergebnisse

Die untersuchten Patienten zeigten, unabhängig von den in den Publikationen verwendeten Techniken, gute bis sehr gute klinische Ergebnisse. Zwischen den einzelnen Techniken ließen sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der klinischen Parameter und Schulderscores nachweisen.

Im Vergleich der Ergebnisse der Einzelreihentechnik (erstgenannt) und der Doppelreihenversorgung (zweitgenannt) in Publikation 1 erzielten die Patienten im Mittel im Constant Score $82,2 \pm 8,1$ versus $77,0 \pm 8,6$ Punkte, $96,5 \pm 3,2$ % versus $90,7 \pm 12,6$ % im WORC Index und im Subjective Shoulder Value $91,0 \pm 8,8$ % versus $92,9 \pm 9,6$ %. Alle Differenzen waren statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$).

Des Weiteren fanden sich auch in der radiologischen Auswertung keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die fettige Infiltration lag im Mittel bei den Single-row-Patienten bei $0,94 \pm 0,16$ und bei den Doppelreihenpatienten zum finalen Nachuntersuchungszeitpunkt bei $1,15 \pm 0,5$ ($p > 0,05$). Die Rerupturrate lag bei $31,6$ % (single row) und bei 25 % (double row; $p > 0,05$). Technikübergreifend zeigten die Patienten mit intakter Sehne im Vergleich zu Patienten mit Rerupturen signifikant bessere Kraftwerte in diesem Unterpunkt im Constant Scores ($11,3$ versus $7,1$; $p = 0,03$).

Radiologisch differierten die Muster der Redefekte. Zeigte sich bei den Versagern der Einzelreihenversorgung ein laterales Versagensmuster, so waren die Redefekte der Suture-Bridge-Technik vorwiegend als „Medial-Cuff-Failure“ zu deuten^{40,48}.

Auch in Publikation 2 konnte beim Vergleich der mit bioresorbierbaren Ankern (PLLA) versorgten Patienten mit Patienten mit nicht resorbierbaren Fadenankern (PEEK) in den untersuchten Schulderscores kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden (SSV $91,6 \pm 19,9$ % versus $86,7 \pm 19,6$ %; CS $79,2 \pm 13,7$ Punkte versus $76,3 \pm 9,0$ Punkte; WORC $92,4 \pm 19,8$ % versus $83,3 \pm 19,6$ %; $p > 0,05$). Die MRT-Untersuchungen offenbarten ossäre Ankerreaktionen in beiden Patientengruppen. Die Bohrkanalerweiterung lag $0,9$ mm \pm $0,7$ mm (PLLA) und bei $0,8$ mm \pm $0,6$ mm (PEEK). Hier lag keine Signifikanz vor ($p > 0,05$). Beim Vergleich der Kanalerweiterung der medialen und lateralen Ankerreihe, unabhängig vom Ankermaterial, konnte eine signifikante Erweiterung der lateralen Bohrkanäle beschrieben werden (mediale Ankerreihe $0,5$ mm \pm $0,5$ mm versus laterale Ankerreihe $1,1$ mm \pm $0,7$ mm; $p = 0,00037$).

Bei der knotenfreien Speed-Bridge-Technik in Publikation 3 war zum Zeitpunkt der finalen Nachuntersuchung ein SSV von $88,7 \pm 14,9 \%$, ein CS von $78,2 \pm 13,2$ Punkten und eine WORC Score von $87,1 \pm 18,2 \%$ zu verzeichnen.

Beim anschließenden Vergleich mit der modifizierten Suture-Bridge-Technik war ebenfalls kein signifikanter Unterschied in den klinischen Parametern nachzuweisen. Auch radiologisch bestand bezüglich der Sehnenintegrität (Rerupturrate $22,7 \%$ versus 25% ; $p > 0,05$) und der muskulären Atrophie kein statistisch signifikanter Unterschied. Betrachtet man das Muster der Sehnenrerupturen, so konnte in zwei von fünf Fällen ein mediales Versagensmuster definiert werden. Im Vergleich hierzu zeigte sich bei der modifizierten Suture-Bridge-Technik ein Medial-Cuff-Failure in fünf von sechs Fällen.

3 Diskussion

Die Hypothese, dass die biomechanische Überlegenheit der Doppelreihenversorgungen zu besseren klinischen und radiologischen Ergebnissen führt, konnte auch in unseren Untersuchungen nicht bestätigt werden. Obwohl den Double-row-Techniken höhere Ausrisskräfte und bessere Konstruktstabilität zugeschrieben werden, fanden wir, wie auch zahlreiche weitere Studien¹³⁻²⁰, keinen signifikanten Unterschied bei den klinischen Ergebnissen zwischen den beiden Gruppen.

Rerupturen stellen häufige Komplikationen nach operativen Rotatorenmanschettenversorgungen dar^{37,49}. Die Rerupturrate in Publikation 1 lag bei den Einzelreihenpatienten bei 30 % und bei den Doppelreihenpatienten bei 25 % ($p > 0,05$). Diese sind vergleichbar mit der verfügbaren Literatur^{6,50,51}.

Beim Redefektmuster differieren die beiden Gruppen in ihren Ergebnissen. In 4/5 der Fälle wies die Doppelreihengruppe ein mediales Versagensmuster auf. Die Patienten der Single-row-Versorgung boten vorwiegend ein laterales Defektmuster (5/6 der Fälle). Eine ähnliche Rerupturdisposition beschreiben auch Cho et al.⁵² für Einzel- und Doppelreihenversorgungen. Diese hohe Anzahl an Rerupturen mit medialem Versagensmuster könnte eine neue Form der Redefekte der Rotatorenmanschette nach operativer Versorgung darstellen. Mehrere Faktoren könnten hierfür verantwortlich sein. Durch die medialisierte Sehnenperforation nahe dem muskulotendinösen Übergang und der Lateralisierung der muskulotendinösen Einheit zur Rekonstruktion zeichnet sich die mediale Reihe als lasttragendes Areal aus. Biomechanische Kadaverstudien bestätigen den Punkt des Konstruktversagens im Bereich der medialen Reihe^{13,19}. Zudem wird eine mögliche Strangulation der Sehne mit folgender Minderperfusion nach Platzierung der lateralen Reihe beschrieben⁵³. Des Weiteren könnten durch das Verwenden von retrogradem transtendinösen Fadeninstrumentarium durch größere Sehnenperforationen weitere mediale Schwachstellen der Sehne kreierte werden^{40,54}.

Das Medial-Cuff-Failure stellt zudem eine große Herausforderung im Falle von Revisionseingriffen dar. Dies hebt die Notwendigkeit zur Prävention dieser Rupturform weiter hervor.

Viele Autoren entwickelten zur Optimierung der biomechanischen Eigenschaften oder zur Kreierung anatomischer Sehnenansatzrekonstruktionen neue arthroskopische Techniken zur Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenläsionen^{11,12,30,55-60}. Neben der beständigen Diskussion

um die Versorgung der Rotatorenmanschettenläsionen in Einzel- oder Doppelreihentechnik rückten die knotenlosen, sehnenansatzbedeckenden Techniken in das Zentrum des Interesses.

In Publikation 3 konnte hypothesenkonform die modifizierte knotenlose Speedbridge-Technik als suffiziente Option zur Versorgung von Rotatorenmanschettenläsionen beschrieben werden. Im Vergleich zu den anderen untersuchten arthroskopischen Techniken waren keine klinischen Unterschiede darzustellen. So standen der biomechanischen Unterlegenheit des Verfahrens im Vergleich zu geknoteten Techniken mögliche biologische und technische Vorteile gegenüber^{19,35}. Knotenfreie Verfahren wie die beschriebene Speed-Bridge-Technik sind schnell und offerieren ein vereinfachtes Fadenmanagement im Vergleich zur Suture-Bridge-Technik. Zudem kann einem medialen und lateralen Knotenimpingement entgegengewirkt werden, und der Heilungsprozess wird durch sich lösende Knoten und sich daraus resultierende „gap formation“ nicht limitiert. Bezüglich der radiologischen Nachuntersuchung zeigten sich im Vergleich zur Suture-Bridge-Gruppe Unterschiede in der Rerupturmorphologie. Im Gegensatz zum dominierenden Medial-Cuff-Failure der Suture-Bridge (4/5 der Fälle) waren bei der Speed-Bridge-Versorgung nur zwei mediale Versagungsmuster nachweisbar (2/5 der Fälle). Dies lässt vermuten, dass das mediale Versagen am muskulotendinösen Übergang vorwiegend eine Folge der geknoteten Suture-Bridge-Technik gewesen ist. Dieser Verdacht wird auch durch die aktuelle Literatur gestützt^{40,61,62}. Eine mögliche Strangulation der Sehne am medialen Sehnenansatz kann dabei als Ursache angenommen werden⁶³.

Bezüglich der Ankermaterialien zeigten sich in Publikation 2 entgegen unserer Hypothese nicht nur im Bereich der bioresorbierbaren Anker, sondern auch bei nicht bioabsorbierbaren PEEK-Ankern ossäre Reaktionen mit periimplantärer Flüssigkeitsansammlung und Ankerkanalerweiterung. Saure Hydrolyse und Rückstände des Ankerabbaus wurden als mögliche Ursachen für die knöchernen Reaktionen bei PLLA-Ankern beschrieben, treffen jedoch auf PEEK-Anker nicht zu⁶⁴⁻⁶⁶. Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (PLLA versus PEEK) in den klinischen Ergebnissen konnten nicht aufgezeigt werden. Eine Korrelation zwischen Osteolyse, periimplantärer Flüssigkeit, Kanalerweiterung und dem klinischen Ergebnis bei bioresorbierbarer Ankerversorgung konnte auch in anderen Studien nicht nachgewiesen werden^{67,68}. Interessanterweise unterscheidet sich das Ausmaß der Erweiterung des Ankerkanals unabhängig vom Implantatmaterial (PLLA und PEEK). So wies die laterale Reihe im Verlauf eine signifikant größere Kanalerweiterung im Vergleich zur medialen Ankerreihe auf. Dies wurde bis dahin in der Literatur noch nicht beschrieben. Als Grund hierfür kann möglicherweise

die weichere Knochenstruktur des lateralen Teils des Humeruskopfes diskutiert werden⁶⁹. Zudem war die laterale Reihe im Gegensatz zur medialen Ankerreihe nicht mit Sehngewebe bedeckt. Durch diesen fehlenden Schutz und die beständige Exposition zur subacromialen Flüssigkeit könnte eine verstärkte ossäre Reaktion begünstigt werden.

Der Einfluss des Ankermaterials auf die klinischen und radiologischen Ergebnisse nach arthroskopischer Rotatorenmanschettenläsion scheint anhand unserer Ergebnisse und der gegenwärtigen Literatur gering zu sein.

Im Falle degenerativer Läsionen mit muskulärer Atrophie und Retraktion des muskulotendinösen Komplexes führte der Versuch einer anatomischen Sehnenansatzrekonstruktion zur Überdehnung der muskulotendinösen Einheit. Zudem lagen Sehnenanteile auf dem knöchernen Sehnenansatz, die physiologisch nie knöcherne Verbindungen eingingen. So konnte bisher kein Rekonstruktionsverfahren – abgesehen von direkten posttraumatischen Versorgungen – eine vollständige anatomische Wiederherstellung für sich beanspruchen. Die bestmögliche Versorgung von Rotatorenmanschettenläsionen bleibt daher weiterhin Gegenstand aktueller klinischer Untersuchungen und Forschungen.

In Zukunft gilt es zudem, mediale Strangulationen der Sehne zu vermindern, um dem Medial-Cuff-Failure und den daraus resultierenden besonderen therapeutischen Herausforderungen entgegenzuwirken.

4 Literaturverzeichnis

1. Fukuda H. The management of partial-thickness tears of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85:3-11.
2. Ozaki J, Fujimoto S, Nakagawa Y, Masuhara K, Tamai S. Tears of the rotator cuff of the shoulder associated with pathological changes in the acromion. A study in cadavera. *J Bone Joint Surg Am* 1988;70:1224-30.
3. Lustenberger A. Rotator cuff rupture: definition, establishing the diagnosis and therapy. *Ther Umsch* 1998;55:210-6.
4. Lohr JF, Uthoff HK. The microvascular pattern of the supraspinatus tendon. *Clin Orthop Relat Res* 1990;254:35-8.
5. Rothman RH, Parke WW. The vascular anatomy of the rotator cuff. *Clin Orthop Relat Res* 1965;41:176-86.
6. Bishop J, Klepps S, Lo IK, Bird J, Gladstone JN, Flatow EL. Cuff integrity after arthroscopic versus open rotator cuff repair: a prospective study. *J Shoulder Elbow Surg* 2006;15:290-9.
7. Warner JJ, Tetreault P, Lehtinen J, Zurakowski D. Arthroscopic versus mini-open rotator cuff repair: a cohort comparison study. *Arthroscopy* 2005;21:328-32.
8. Liem D, Bartl C, Lichtenberg S, Magosch P, Habermeyer P. Clinical outcome and tendon integrity of arthroscopic versus mini-open supraspinatus tendon repair: a magnetic resonance imaging-controlled matched-pair analysis. *Arthroscopy* 2007;23:514-21.
9. Ji X, Bi C, Wang F, Wang Q. Arthroscopic Versus Mini-Open Rotator Cuff Repair: An Up-to-Date Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Arthroscopy* 2015;31:118-24.
10. Kasten P, Keil C, Grieser T, Raiss P, Streich N, Loew M. Prospective randomised comparison of arthroscopic versus mini-open rotator cuff repair of the supraspinatus tendon. *Int Orthop* 2011;35:1663-70.
11. Lo IK, Burkhart SS. Double-row arthroscopic rotator cuff repair: re-establishing the footprint of the rotator cuff. *Arthroscopy* 2003;19:1035-42.
12. Park MC, Elattrache NS, Ahmad CS, Tibone JE. "Transosseous-equivalent" rotator cuff repair technique. *Arthroscopy* 2006;22:1360 e1-5.
13. Baums MH, Buchhorn GH, Gilbert F, Spahn G, Schultz W, Klinger HM. Initial load-to-failure and failure analysis in single- and double-row repair techniques for rotator cuff repair. *Arch Orthop Trauma Surg* 2010;130:1193-9.
14. Kim DH, Elattrache NS, Tibone JE, et al. Biomechanical comparison of a single-row versus double-row suture anchor technique for rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2006;34:407-14.

15. Ma CB, Comerford L, Wilson J, Puttitz CM. Biomechanical evaluation of arthroscopic rotator cuff repairs: double-row compared with single-row fixation. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:403-10.
16. Meier SW, Meier JD. The effect of double-row fixation on initial repair strength in rotator cuff repair: a biomechanical study. *Arthroscopy* 2006;22:1168-73.
17. Milano G, Grasso A, Zarelli D, Deriu L, Cillo M, Fabbriani C. Comparison between single-row and double-row rotator cuff repair: a biomechanical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008;16:75-80.
18. Nelson CO, Sileo MJ, Grossman MG, Serra-Hsu F. Single-row modified mason-allen versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a biomechanical and surface area comparison. *Arthroscopy* 2008;24:941-8.
19. Pauly S, Kieser B, Schill A, Gerhardt C, Scheibel M. Biomechanical comparison of 4 double-row suture-bridging rotator cuff repair techniques using different medial-row configurations. *Arthroscopy* 2010;26:1281-8.
20. Smith CD, Alexander S, Hill AM, et al. A biomechanical comparison of single and double-row fixation in arthroscopic rotator cuff repair. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:2425-31.
21. Aydin N, Kocaoglu B, Guven O. Single-row versus double-row arthroscopic rotator cuff repair in small- to medium-sized tears. *J Shoulder Elbow Surg* 2010;19:722-5.
22. Burks RT, Crim J, Brown N, Fink B, Greis PE. A prospective randomized clinical trial comparing arthroscopic single- and double-row rotator cuff repair: magnetic resonance imaging and early clinical evaluation. *Am J Sports Med* 2009;37:674-82.
23. Charoussat C, Grimberg J, Duranthon LD, Bellaiche L, Petrover D. Can a double-row anchorage technique improve tendon healing in arthroscopic rotator cuff repair?: A prospective, nonrandomized, comparative study of double-row and single-row anchorage techniques with computed tomographic arthrography tendon healing assessment. *Am J Sports Med* 2007;35:1247-53.
24. Franceschi F, Ruzzini L, Longo UG, et al. Equivalent clinical results of arthroscopic single-row and double-row suture anchor repair for rotator cuff tears: a randomized controlled trial. *Am J Sports Med* 2007;35:1254-60.
25. Grasso A, Milano G, Salvatore M, Falcone G, Deriu L, Fabbriani C. Single-row versus double-row arthroscopic rotator cuff repair: a prospective randomized clinical study. *Arthroscopy* 2009;25:4-12.
26. Mihata T, Watanabe C, Fukunishi K, et al. Functional and structural outcomes of single-row versus double-row versus combined double-row and suture-bridge repair for rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 2011;39:2091-8.
27. Park JY, Lhee SH, Choi JH, Park HK, Yu JW, Seo JB. Comparison of the clinical outcomes of single- and double-row repairs in rotator cuff tears. *Am J Sports Med* 2008;36:1310-6.

28. Pauly S, Gerhardt C, Chen J, Scheibel M. Single versus double-row repair of the rotator cuff: does double-row repair with improved anatomical and biomechanical characteristics lead to better clinical outcome? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010;18:1718-29.
29. Pennington WT, Gibbons DJ, Bartz BA, et al. Comparative analysis of single-row versus double-row repair of rotator cuff tears. *Arthroscopy* 2010;26:1419-26.
30. Scheibel MT, Habermeyer P. A modified Mason-Allen technique for rotator cuff repair using suture anchors. *Arthroscopy* 2003;19:330-3.
31. Athwal GS, Shridharani SM, O'Driscoll SW. Osteolysis and arthropathy of the shoulder after use of bioabsorbable knotless suture anchors. A report of four cases. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:1840-5.
32. McCarty LP, Buss DD, Datta MW, Freehill MQ, Giveans MR. Complications observed following labral or rotator cuff repair with use of poly-L-lactic acid implants. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95:507-11.
33. Boden RA, Burgess E, Enion D, Srinivasan MS. Use of bioabsorbable knotless suture anchors and associated accelerated shoulder arthropathy: report of 3 cases. *Am J Sports Med* 2009;37:1429-33.
34. Barber FA, Herbert MA, Beavis RC, Barrera Oro F. Suture anchor materials, eyelets, and designs: update 2008. *Arthroscopy* 2008;24:859-67.
35. Chu T, McDonald E, Tufaga M, Kandemir U, Buckley J, Ma CB. Comparison of Completely Knotless and Hybrid Double-Row Fixation Systems: A Biomechanical Study. *Arthroscopy* 2011;27:479-85.
36. Jost B, Zumstein M, Pfirrmann CW, Gerber C. Long-term outcome after structural failure of rotator cuff repairs. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:472-9.
37. Galatz LM, Ball CM, Teefey SA, Middleton WD, Yamaguchi K. The outcome and repair integrity of completely arthroscopically repaired large and massive rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86:219-24.
38. Goutallier D, Postel JM, Bernageau J, Lavau L, Voisin MC. Fatty muscle degeneration in cuff ruptures. Pre- and postoperative evaluation by CT scan. *Clin Orthop Relat Res* 1994;304:78-83.
39. Barber FA, Feder SM, Burkhart SS, Ahrens J. The relationship of suture anchor failure and bone density to proximal humerus location: a cadaveric study. *Arthroscopy* 1997;13:340-5.
40. Trantalis JN, Boorman RS, Pletsch K, Lo IK. Medial rotator cuff failure after arthroscopic double-row rotator cuff repair. *Arthroscopy* 2008;24:727-31.
41. Bateman JE. The diagnosis and treatment of ruptures of the rotator cuff. *Surg Clin North Am* 1963;43:1523-30.
42. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 1987;214:160-4.

43. Gilbert MK, Gerber C. Comparison of the subjective shoulder value and the Constant score. *J Shoulder Elbow Surg* 2007;16:717-21.
44. Huber W, Hofstaetter JG, Hanslik-Schnabel B, Posch M, Wurnig C. Translation and psychometric testing of the Western Ontario Rotator Cuff Index (WORC) for use in Germany. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2005;143:453-60.
45. Sugaya H, Maeda K, Matsuki K, Moriishi J. Functional and structural outcome after arthroscopic full-thickness rotator cuff repair: single-row versus dual-row fixation. *Arthroscopy* 2005;21:1307-16.
46. Thomazeau H, Rolland Y, Lucas C, Duval JM, Langlais F. Atrophy of the supraspinatus belly. Assessment by MRI in 55 patients with rotator cuff pathology. *Acta Orthop Scand* 1996;67:264-8.
47. Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M. 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* 2012;40:2777-85.
48. Cummins CA, Murrell GA. Mode of failure for rotator cuff repair with suture anchors identified at revision surgery. *J Shoulder Elbow Surg* 2003;12:128-33.
49. Boileau P, Brassart N, Watkinson DJ, Carles M, Hatzidakis AM, Krishnan SG. Arthroscopic repair of full-thickness tears of the supraspinatus: does the tendon really heal? *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:1229-40.
50. Cole BJ, ElAttrache NS, Anbari A. Arthroscopic rotator cuff repairs: an anatomic and biomechanical rationale for different suture-anchor repair configurations. *Arthroscopy* 2007;23:662-9.
51. Frank JB, ElAttrache NS, Dines JS, Blackburn A, Crues J, Tibone JE. Repair site integrity after arthroscopic transosseous-equivalent suture-bridge rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2008;36:1496-503.
52. Cho NS, Yi JW, Lee BG, Rhee YG. Retear patterns after arthroscopic rotator cuff repair: single-row versus suture bridge technique. *Am J Sports Med* 2010;38:664-71.
53. Christoforetti JJ, Krupp RJ, Singleton SB, Kissenberth MJ, Cook C, Hawkins RJ. Arthroscopic suture bridge transosseous equivalent fixation of rotator cuff tendon preserves intratendinous blood flow at the time of initial fixation. *J Shoulder Elbow Surg* 2012;21:523-30.
54. Chokshi BV, Kubiak EN, Jazrawi LM, et al. The effect of arthroscopic suture passing instruments on rotator cuff damage and repair strength. *Bull Hosp Jt Dis* 2006;63:123-5.
55. Burkhart SS. The deadman theory of suture anchors: observations along a south Texas fence line. *Arthroscopy* 1995;11:119-23.
56. Castagna A, Garofalo R, Conti M, Borroni M, Snyder SJ. Arthroscopic rotator cuff repair using a triple-loaded suture anchor and a modified Mason-Allen technique (Alex stitch). *Arthroscopy* 2007;23:440 e1-4.

57. Fealy S, Kingham TP, Altchek DW. Mini-open rotator cuff repair using a two-row fixation technique: outcomes analysis in patients with small, moderate, and large rotator cuff tears. *Arthroscopy* 2002;18:665-70.
58. Gerber C, Schneeberger AG, Beck M, Schlegel U. Mechanical strength of repairs of the rotator cuff. *J Bone Joint Surg Br* 1994;76:371-80.
59. MacGillivray JD, Ma CB. An arthroscopic stitch for massive rotator cuff tears: the Mac stitch. *Arthroscopy* 2004;20:669-71.
60. Tao SS, Kaltenbach J. Arthroscopic placement of a modified Mason-Allen stitch. *Arthroscopy* 2006;22:1248 e1-3.
61. Yamakado K, Katsuo S, Mizuno K, Arakawa H, Hayashi S. Medial-row failure after arthroscopic double-row rotator cuff repair. *Arthroscopy* 2010;26:430-5.
62. Rhee YG, Cho NS, Parke CS. Arthroscopic Rotator Cuff Repair Using Modified Mason-Allen Medial Row Stitch: Knotless Versus Knot-Tying Suture Bridge Technique. *Am J Sports Med* 2012;40:2440-7.
63. Mazzocca AD, Millett PJ, Guancho CA, Santangelo SA, Arciero RA. Arthroscopic single-row versus double-row suture anchor rotator cuff repair. *Am J Sports Med* 2005;33:1861-8.
64. Bostman OM, Laitinen OM, Tynnen O, Salminen ST, Pihlajamaki HK. Tissue restoration after resorption of polyglycolide and poly-laevo-lactic acid screws. *J Bone Joint Surg Br* 2005;87:1575-80.
65. Gonzalez-Lomas G, Cassilly RT, Remotti F, Levine WN. Is the etiology of pretibial cyst formation after absorbable interference screw use related to a foreign body reaction? *Clin Orthop Relat Res* 2011;469:1082-8.
66. Weiler A, Hoffmann RF, Stahelin AC, Helling HJ, Sudkamp NP. Biodegradable implants in sports medicine: the biological base. *Arthroscopy* 2000;16:305-21.
67. Stein T, Mehling AP, Ulmer M, et al. MRI graduation of osseous reaction and drill hole consolidation after arthroscopic Bankart repair with PLLA anchors and the clinical relevance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012;20:2163-73.
68. Pilge H, Spang J, Rose T, Wolter H, Woertler K, Imhoff AB. Osteolysis after rotator cuff repair with bioabsorbable anchors. *Arch Orthop Trauma Surg* 2012;132:305-10.
69. Yakacki CM, Poukalova M, Guldborg RE, et al. The effect of the trabecular microstructure on the pullout strength of suture anchors. *J Biomech* 2010;43:1953-9.

5 Anhang

5.1 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Konstantin Hug, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Neue Aspekte in der arthroskopischen Versorgung von Supraspinatussehnenläsionen in Ankertechnik“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Grafiken und Tabellen) entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s. o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§ 156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

5.2 Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen

Konstantin Hug hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1: 35 Prozent

Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M

Arthroscopic Single-Row Modified Mason-Allen Repair Versus Double-Row Suture Bridge Reconstruction for Supraspinatus Tendon Tears

Am J Sports Med 2012;40:2777-2785.

IF: 3,792 (2012)

Beitrag im Einzelnen: Nachuntersuchung der Patienten, Beteiligung an statistischer und radiologischer Auswertung, Beitrag zum Manuskript

Publikation 2: 25 Prozent

Haneveld H, Hug K, Diederichs G, Scheibel M, Gerhardt C

Arthroscopic double-row repair of the rotator cuff: a comparison of bio-absorbable and non-resorbable anchors regarding osseous reaction

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013;21:1647-1654.

IF: 2,837 (2013)

Beitrag im Einzelnen: Nachuntersuchung der Patienten, Beteiligung an statistischer und radiologischer Auswertung

Publikation 3: 45 Prozent

Hug K, Gerhardt C, Haneveld H, Scheibel M

Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015;23:2628-34.

IF: 3,053 (2014)

Beitrag im Einzelnen: Nachuntersuchung der Patienten, statistische und radiologische Auswertung, Erstellen des Manuskriptes, Bearbeitung der Reviewer-Fragen

∑ IF: 9,682

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden

5.3 Verwendete Publikationen

5.3.1 Arthroscopic Single-Row Modified Mason-Allen Repair Versus Double-Row Suture Bridge Reconstruction for Supraspinatus Tendon Tears

Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M

Arthroscopic Single-Row Modified Mason-Allen Repair Versus Double-Row Suture Bridge Reconstruction for Supraspinatus Tendon Tears

<http://dx.doi.org/10.1177/0363546512462123>

Am J Sports Med 2012; 40:2777-2785

IF: 3,792 (2012)

5.3.2 Arthroscopic double-row repair of the rotator cuff: a comparison of bio-absorbable and non-resorbable anchors regarding osseous reaction

Haneveld H, Hug K, Diederichs G, Scheibel M, Gerhardt C

Arthroscopic double-row repair of the rotator cuff: a comparison of bio-absorbable and non-resorbable anchors regarding osseous reaction

<http://dx.doi.org/10.1007/s00167-013-2510-3>

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013; 21:1647-1654

IF: 2,837 (2013)

5.3.3 Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation

Hug K, Gerhardt C, Haneveld H, Scheibel M Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation

<http://dx.doi.org/10.1007/s00167-014-3026-1>

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015;23:2628-34.

IF: 3,053 (2014)

5.4 Lebenslauf

"Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht."

5.5 Publikationsliste

Arthroscopic knotless-anchor rotator cuff repair: a clinical and radiological evaluation Hug K, Gerhardt C, Haneveld H, Scheibel M

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2015;23:2628-34 IF: 3,053

Arthroscopic Single-Row Modified Mason-Allen Repair Versus Double-Row Suture Bridge Reconstruction for Supraspinatus Tendon Tears – A Matched-Pair-Analysis

Gerhardt C, Hug K, Pauly S, Marnitz T, Scheibel M

Am J Sports Med 2012; 40:2777-2785 IF: 3,792

Ursache und Versagemuster für Redefekte nach Rekonstruktion der Rotatorenmanschette

Gwinner C, Hug K, Gerhardt C, Scheibel M *Arthroskopie* 2014; 27:7-15 IF: -

Arthroscopic double-row repair of the rotator cuff: a comparison of bio-absorbable and non-resorbable anchors regarding osseous reaction

Haneveld H, Hug K, Diederichs G, Scheibel M, Gerhardt C

Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2013; 21:1647-1654 IF: 2,837

Arthroscopic reduction and fixation of large solitary and multifragmented anterior glenoid rim fractures

Scheibel M, Hug K, Gerhardt C, Krueger D

J Shoulder Elbow Surg 2015; doi: 10.1016/j.jse.2015.09.012. IF: 2,289

MR imaging findings in flexed abducted supinated (FABS) position and clinical presentation following refixation of distal biceps tendon rupture using bioabsorbable suture anchors

Marnitz T, Spiegel D, **Hug K**, Hüper M, Gerhardt C, Steffen IG, Denecke T, Greiner S, Scheibel M, Elgeti FA

Rofo 2012; 184:432-436

IF: -

5.6 Danksagung

Ich danke Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h.c. Norbert P. Haas, Direktor des Centrums für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité-Universitätsmedizin Berlin, für das Ermöglichen der Promotion in seiner Abteilung.

Ich möchte mich hiermit auch bei Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Markus Scheibel bedanken, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen und weitreichende Einblicke in das wissenschaftliche Arbeiten und Vortragen ermöglicht hat.

Herrn Dr. med. Christian Gerhardt danke ich besonders für die hervorragende Betreuung und seine Hilfsbereitschaft zum Erlernen des wissenschaftlichen Arbeitens.

Besonderen Dank auch an die gesamte Arbeitsgruppe für die freundschaftliche Arbeitsatmosphäre, insbesondere an David Krüger, Hendrik Haneveld und Magdalena Werth. Ohne die vielen wertvollen Anregungen und die stete Hilfsbereitschaft wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Des Weiteren möchte ich mich auch bei der Klinik für Radiologie des Virchow-Klinikums bedanken, insbesondere bei Dr. med. Tim Manitz, für das Ermöglichen der Durchführung und der Auswertung der radiologischen Verlaufsuntersuchungen.

Bei meinen Eltern und Geschwistern möchte ich mich ganz besonders herzlich für die uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung sowie durchaus notwendige Ablenkung während meines Studiums und natürlich darüber hinaus, bedanken.