

Dr. med. Jan Hennings MBA  
FA für Orthopädie und Unfallchirurgie, Kniechirurgie, Sporttraumatologie

Chefarzt Klinik Manhagen  
Sieker Landstraße 19, 22927 Großhansdorf  
Email: [dr.jan.hennings@manhagen.de](mailto:dr.jan.hennings@manhagen.de)

Orthopraxis Schwarzenbek  
Markt 6  
21493 Schwarzenbek  
Email: [info@orthopraxis-schwarzenbek.de](mailto:info@orthopraxis-schwarzenbek.de)



## **„Die arthroskopische ossäre anatomische Reinsertion proximaler vorderer Kreuzbandrupturen: 3-Jahresergebnisse einer noch jungen Versorgungsstrategie“**

### **Zusammenfassung**

**Hintergrund:** Goldstandard in der operativen Versorgung von vorderen Kreuzbandrupturen ist die Kreuzbandersatzplastik. Die Literatur beschreibt jedoch ein körpereigenes Heilungspotenzial.

**Zielsetzung:** In arthroskopischer Technik sollen proximale vordere Kreuzbandrupturen durch stabile Refixation und biologische Stimulation zur Ausheilung gebracht werden.

**Material und Methode:** 27 Sportlern mit proximaler VKB-Ruptur wurden in arthroskopischer Technik nach Anlage einer modifizierten Bunnellnaht die Bandstümpfe mittels Knochenanker im anatomischen Footprintareal reinsertiert. Die Rückkehr zur vorherigen Sportart erfolgte schrittweise nach 6 Monaten. Es wurden KT 1000, ACL-RSI-Skala, Tegner-Aktivitäts-Skala (TAS), Lysholm, KOOS und objektives IKDC-Formblatt jeweils nach 6 Wochen, 3, 6, 12, 24 und 36 Monaten erfasst. Nativradiologische Kontrollen erfolgten nach 3 und 12 Monaten, eine MRT nach 6 Monaten.

**Ergebnisse:** Insgesamt konnten 23 Patienten vollständig nach 3 Jahren mit folgenden Durchschnittsergebnissen erfasst werden: Differenz in KT 1000-Testung 1,0mm, ACL-RSI-Skala 95,0%, TAS 6,8, Lysholmscore 95,9 und KOOS 94,5%. Die IDKC-Verteilung zeigte 18x Grad A, 3x Grad B und 2x Grad C.

In den nativradiologischen Kontrollen ergaben sich keine Osteolysen um die Knochenanker. Die MRT-Kontrollen zeigten einen gerichteten Bandverlauf mit durchgängiger, teils narbig-inhomogener Struktur.

**Schlussfolgerungen:** Nach proximaler anatomischer Reinsertion finden sich nach 3 Jahren ermutigende Ergebnisse. Nahezu alle Patienten konnten ihr früheres Sportniveau wieder erreichen. Mit einer differenzierten Patientenselektion erweitert die Technik den VKB-Versorgungsalgorithmus.

**Evidenzlevel:** Es handelt sich um eine Verlaufsserie ohne Vergleichsgruppe (Level IV).

Schlüsselwörter: vorderes Kreuzband, Heilungspotenzial, Reinsertion, Naht, Knochenanker

### **Abstract**

„Arthroscopic osseous anatomical reinsertion of proximal anterior cruciate ligament ruptures: 3-years-results of a still young treatment strategy“

Background: ACL reconstruction is the gold standard in the surgery of anterior cruciate ligament injuries. Literature indicates a natural healing potential.

Objective: Proximal ruptures of the anterior cruciate ligament shall be healed by arthroscopic surgery with a stable fixation and biological stimulation.

Methods: By arthroscopic surgery, 27 athletes with a proximal ACL rupture received a modified Bunnell stitch and reattachment of the ligament stumps with bone anchors in the anatomical footprint. The athletes returned stepwise to their previous sports after 6 months.

KT 1000, ACL-RSI scale, Tegner activity scale, Lysholm, KOOS und objective IKDC were examined after 6 weeks, 3, 6, 12, 24 and 36 months. X-rays were done after 3 and 12 months, a MRI after 6 months.

Results: A 3-years-follow-up could be completed for 23 patients with the following average results: KT 1000 with a translation difference of 1,0mm, ACL-RSI scale 95,0%, TAS 6,8, Lysholm 95,9 and KOOS 94,5%. IKDC levels were 18x grade A, 3x grade B and 2x grade C.

X-rays showed no osteolysis around bone anchors. MRI showed appropriately positioned and continuous ligaments with scar tissue and irregular signals.

Conclusions: The results 3 years after proximal anatomical reinsertion are promising. Nearly all patients returned to their former sports level. With careful patient selection this technique is a supplement in the treatment algorithm of ACL injuries.

Keywords: ACL, healing potential, reinsertion, suture, bone anchor

### **Hinführung zum Thema**

Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (VKB) sind häufig. Bevorzugte Therapie ist immer noch die vordere Kreuzbandersatzplastik, bei deren Einsatz 83% der Leistungs- und 60% der Freizeitsportler wieder ihr altes Leistungsniveau erreichen (10). Jahrelang lag der Fokus von Forschungsgruppen auf der Fragestellung, welche Sehne und Art des Fixierungsverfahrens überlegen sind und ob eine Ein- oder Zweikanaltechnik anzuwenden sei. Ein Regenerationspotenzial von VKB-Verletzungen wurde kaum beachtet.

### **Hintergrund und Fragestellung**

Historische Misserfolge bei der Reparatur des VKB (14,15) und hohe Versagensraten (80%) über lange Zeit (6) führten 1990 zur ESSKA-Empfehlung, vom Einsatz der Naht bei intraligamentären Verletzungen des Kreuzbandes abzusehen. Auch später noch wurden Langzeitergebnisse kritisch diskutiert (19).

Ab Mitte der 1970er-Jahre finden sich Hinweise, warum offene Techniken für eine primäre Naht und Reinsertion gerissener VKBs zu uneinheitlichen, nicht vorhersagbaren Ergebnissen führen (7, 11). Grundproblem war damals die Versorgung und Auswertung eines heterogenen Patientenkollektivs ohne exakte Einordnung der Höhe der VKB-Ruptur sowie Bewertung der Gewebequalität. Hinsichtlich der Rupturhöhe ist das mittlere Drittel am häufigsten betroffen, gefolgt von proximalem und

distalem Rupturbereich (21). Wichtige Vorteile eines Erhaltungsversuches sind der Verzicht auf eine Spenderstruktur mit Wegfall einer entsprechenden Entnahmemorbidität sowie die Revisionsfreundlichkeit im Versagensfall. Dieses gilt insbesondere für die pathologische Bohrkanaldilatation. Auch beeinträchtigt die femorale Reinsertion am juvenilen Skelett nicht die Epiphysenfugen. Die folgende prospektive Studie untersucht den 3-Jahres-Verlauf nach proximaler VKB-Ruptur, die in der primären posttraumatischen Phase mit einer anatomischen ossären femoralen Reinsertion im Sinne eines Erhaltungsversuches der verletzten Bandstruktur versorgt wurde.

### Studiendesign

Im Zeitraum Januar 2018 bis Dezember 2018 wurden 30 sportlich hochaktive Patienten in die Studie aufgenommen, die typische, Kniegelenke überdurchschnittlich belastende Sportarten ausübten. Einschlusskriterium war eine proximale Ruptur des VKB gemäß Typ I nach Sherman im Sinne einer Avulsionsläsion (16), d.h. es lagen ligamentäre und keine knöchernen Ausrisse vor. Außerdem wurde ein Alter <40 Jahren vorgegeben sowie ein Versorgungszeitpunkt innerhalb der ersten 4 Wochen nach Trauma. Daten von Patienten, die nicht für alle Nachkontrollen zur Verfügung standen, wurden in den Zwischenauswertungen trotzdem berücksichtigt. Vollständig ausgeschlossen wurden 3 Patienten, bei denen eine intraoperative Konversion auf eine VKB-Plastik wegen nicht mehr nahtfähiger und weicher Gewebetextur der Stümpfe erfolgte. Tab. 1 listet die demografischen Daten der verbleibenden 27 Patienten auf.

Tab. 1: Demografische Patientendaten mit Mittelwerten (Standardabweichungen)

N=27						
Geschlecht	Männer	14 (51,9%)	Frauen	13 (48,1%)		
Sportart	Fußball	10 (37,0%)	Badminton	2 (7,4%)	Turnen	4 (14,8%)
	Handball	10 (37,0%)	Basketball	1 (3,7%)		
Alter / J.		25,1 (5,2)	Min	18	Max	36
Größe / cm		180,4 (10,4)	Min	161	Max	198
Gewicht / kg		78,2 (12,7)	Min	52	Max	100
BMI		23,8 (1,8)	Min	20,1	Max	26,3
Trainings / Woche		5,0 (1,2)	Min	3	Max	7

Präoperativ erfolgte neben klinischer und nativradiologischer Untersuchung eine MR-Diagnostik zur Klassifizierung der VKB-Rupturen (Abb. 1).

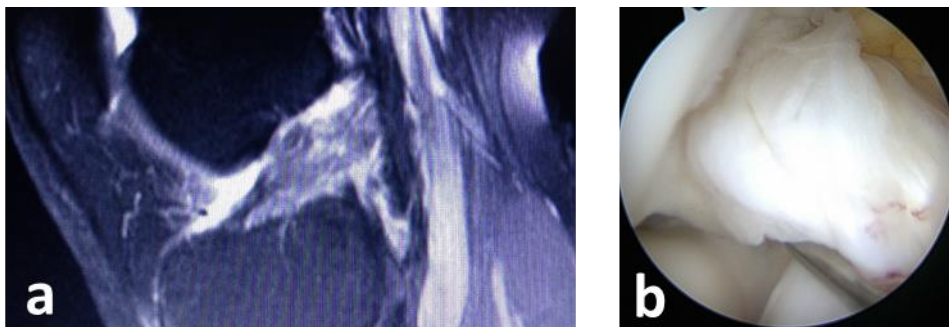


Abb. 1: Charakteristiken einer proximalen Ruptur  
a) sagittale MRT-Sequenz (STIR) einer proximalen Ruptur  
b) arthroskopisches Bild einer Typ I Ruptur (16)

Ausgeschlossen wurden distale und mittlere VKB-Rupturen, höhergradige Arthrosen, multiligamentäre Bandverletzungen sowie Voroperationen am VKB. Eingeschlossen wurden Begleitverletzungen am Knorpel und am lateralen/medialen Meniskus, die mittels Chondroplastik oder Mikrofrakturierung (Knorpel) sowie über Refixation oder Teilresektion (Meniskus) versorgt wurden.

Alle Patienten wurden gemäß Helsinki-Deklaration aufgeklärt und willigten schriftlich ein, dass im Falle einer Nichtrekonstruierbarkeit während des Eingriffs eine Versorgung mit VKB-Plastik mit autologer ipsilateraler Semitendinosussehne erfolgen würde. Die Anhörung der Ethik-Kommission war unnötig, da postoperative Röntgenkontrollen nach Kreuzband-OPs routinemäßig durchgeführt werden (z.B. zum Ausschluss einer Bohrkanalerweiterung).

Die Nachuntersuchungen durch einen Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie erfolgten nach 6 Wochen, 3, 6, 12, 24 und 36 Monaten mittels KT 1000, ACL-RSI-Score, Tegner-Aktivitätsskala (TAS), Lysholm, KOOS und IKDC-Grad. Eine MRT-Verlaufskontrolle mit Auswertung durch einen Radiologen erfolgte nach 6, eine nativradiologische Kontrolle nach 3 und 12 Monaten.

### **Technik**

Die angewandte arthroskopische Technik via anteromedialen und anterolateralem Standardportal ist identisch zur Vorgehensweise von DiFelice et al. (4). Ein erfahrener Operateur mobilisierte nach Diagnosesicherung und dem situativen Adressieren von Begleitpathologien zuerst den Bandstumpf subperiostal und löste Verwachsungen mittels eines Raspatoriums, um eine maximale Länge für die spätere Refixation zu erhalten. Kriterium für die Refixierbarkeit war, dass der mobilisierte VKB-Stumpf mit einer Faszange wieder komplett und möglichst spannungsfrei an das anatomische Footprintareal der lateralen Femurkondyle reponiert werden konnte. Der Hoffakörper sowie sichtbehindernde Zotten der Rupturzone wurden nur sparsam débridiert. Bei unübersichtlichem Situs wurde zum strikten Vermeiden von Gewebebrücken eine Schleuse eingebracht. Mit einer Nahtzange bzw. eines Suturelassos (bei sehr kaliberstarken Bandstümpfen) wurde eine modifizierte Bunnellnaht mittels eines nicht-resorbierbaren Fadens (Fiberwire #2, Arthrex) von distal nach proximal separat für das AM- und PL-Bündel angelegt. Pro Fadenende wurde das AM-Bündel 4 – 5mal und das PL-Bündel 3 – 4mal durchstoßen, wobei der letzte Stich möglichst nahe an der Spitze des Bandstumpfes ausgeleitet wurde. Dann wurden unter mildem Zug an den Durchflechtungsfäden zum Beiseitehalten der Stumpfen die Insertionszonen vorsichtig mit dem Bonecutter angefrischt sowie mit einer Mikrofrakturierungssahle multiple Knochenperforationen gesetzt, um im Sinne einer Healing response-Reaktion eine Liberation von Stammzellen aus der lateralen Femurkondyle zu initiieren. Über ein 3. akzessorisches tief-mediales Portal erfolgte nach entsprechender Ausleitung der Fäden zunächst bei 90°-Flexion die Reinsertion des AM-Bündels. Nach Vorpfriemen eines Starterloches in das anatomische AM-Footprintareal wurde das AM-Bündel mittels eines bioresorbierbaren knotenfreien HA-Schraubankers (4,5mm Swivelokanker, Arthrex) dosiert angespannt, ohne eine Überspannung zu erzeugen. Das VKB-Bündel sollte mit mild gespanntem Verlauf an den Knochen herangelegt und dort fixiert werden. Anschließend wurde in identischer Weise bei einem Flexionswinkel von 120° das PL-Bündel reinsertiert. Auf eine Redondrainage wurde verzichtet. Abb. 2 verdeutlicht die wesentlichen Teilschritte.

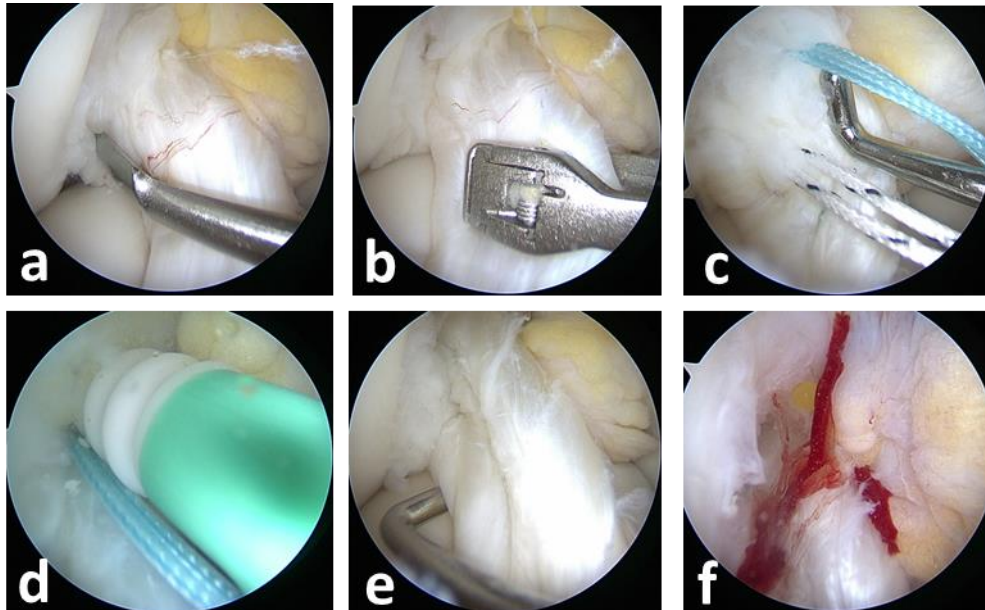


Abb. 2: Wesentliche Teilschritte der OP

- a) Bandstumpf-Mobilisierung
- b) Setzen der Durchflechtungsnaht
- c) Vorgelegte Armierungsfäden durch AM- (blau) und PL-Bündel (gestreift)
- d) Einbringen Knochenanker unter Anspannen der Bündel
- e) Tasthakenprobe am refixierten, reinsertierten VKB-Bündel
- f) Healing response-Reaktion mit „super clot“ nach Öffnen der Blutsperrre

Die Nachbehandlung erfolgte frühfunktionell unter Einhalten einer Teilbelastung mit 20kg für 4 Wochen, die an einer Waage mit den Patienten eintrainiert wurde. Außerdem wurden Rotationsbewegungen strikt unterbunden, indem eine Rahmenorthese tagsüber für insgesamt 8 Wochen (Ex/Flex 0-0-90° für 4 Wochen, dann 0-0-frei) und eine Streckschiene nachts für 2 Wochen getragen wurden. Flankierend erfolgten stadiengerechte physiotherapeutische Kraft- und Koordinationsübungen sowie behutsam steigendes Ergometertraining zwischen Woche 9 und 12. Danach erfolgte ein schrittweiser, beschwerdeadaptierter Lastaufbau auch unter Eintrainieren von Sprüngen sowie - nach Rücksprache mit dem Trainerteam - sportartspezifischen Teilbewegungsabläufen mit einer Rückkehr zur vorherigen Sportart nach frühestens 6 Monaten und positiv verlaufener MRT-Kontrolle.

### Ergebnisse

23 der 27 selektierten Patienten konnten über den vollen Zeitraum ausgewertet werden, 21 erreichten wieder ihr vorheriges Sportniveau (91,3%). Ein Patient mit problemloser Rückkehr 7 Monate postoperativ zur vorbestehenden Sportart (Fußball) erlitt nach 2 Jahren eine Reruptur. 3 Patienten erschienen wegen Umzug nicht weiter zu den Intervallkontrollen. Die zu den ersten Kontrollen erhobenen Daten wurden trotzdem ausgewertet.

Als Minorkomplikationen traten binnen der ersten postoperativen Woche 3 intraartikuläre, punktionspflichtige Hämatome (11,1%) sowie eine milde Arthrofibrose (3,7%) auf. Letztere wurde durch Bewegungseinschränkung begleitet von einem frühen Schmerzpunkt festgestellt und nach 12 Wochen durch Narkosemobilisierung behandelt. Die Reruptur (s.o.) wurde auf eine VKB-Ersatzplastik konvertiert. Infektionen und Thrombosen traten nicht auf.

Zur besseren Unterscheidung wurden die Patienten in 3 Hauptgruppen unterteilt: keine Auffälligkeiten (kA), postoperative Komplikationen (pK) und Begleitverletzungen (BV). BV wurde in 3 Subgruppen gegliedert: Knorpelverletzungen (BV-C), Refixation des Meniskus (BV-R) und Teilresektion des Meniskus (BV-T). Die Ruptur wurde der Gruppe kA zugeordnet. Die Gruppe pK war aufgrund unterschiedlicher Begleitverletzungen heterogen zusammengesetzt. Tab. 2 stellt die Gruppeneinteilung dar.

Tab. 2: Anzahl der Patienten in den medizinisch indizierten Gruppen

Gruppe	Gesamt	Männer	Frauen
kA: keine Auffälligkeiten	10 (37,0%)	7 (25,9%)	3 (11,1%)
pK: postoperative Komplikationen	4 (14,8%)	0 (0,0%)	4 (14,8%)
BV-C: Begleitverletzung chondral	3 (11,1%)	1 (3,7%)	2 (7,4%)
BV-R: Begleitverletzung Refixation M.	5 (18,5%)	2 (7,4%)	3 (11,1%)
BV-T: Begleitverletzung Teilresektion M.	5 (18,5%)	4 (14,8%)	1 (3,7%)

Da eine Kontrollgruppe fehlte, wurden interne Zweistichproben t-Testvergleiche (Welch-Test bei unverbundenen, normalverteilten Stichproben mit Verdacht auf ungleiche Varianzen) zwischen den beiden größten Gruppen kA und BV durchgeführt. Dabei konnten für kein Kontrollintervall und keinen der mittleren Kontrollparameter signifikante Unterschiede ermittelt werden (Beispiele: KOOS nach 6 Wochen  $t = -0,757$ ,  $p = 0,458$ ; nach 36 Monaten  $t = -0,897$ ,  $p = 0,393$ ). Nachfolgend wird nur der KOOS-Verlauf genauer dargestellt, da die anderen Parameter sich ähnlich verhalten. Der KOOS kann maximal 100% erreichen. Je höher er ist, desto besser. Abb. 3 zeigt die Boxplots unter Einbeziehung aller 27 Patienten. Nach einem initialen kontinuierlichen Anstieg treten ab dem 12. Monat keine signifikanten Änderungen mehr auf (vgl. auch Tab. 3). Die Standardabweichungen sind zu Anfang breiter.

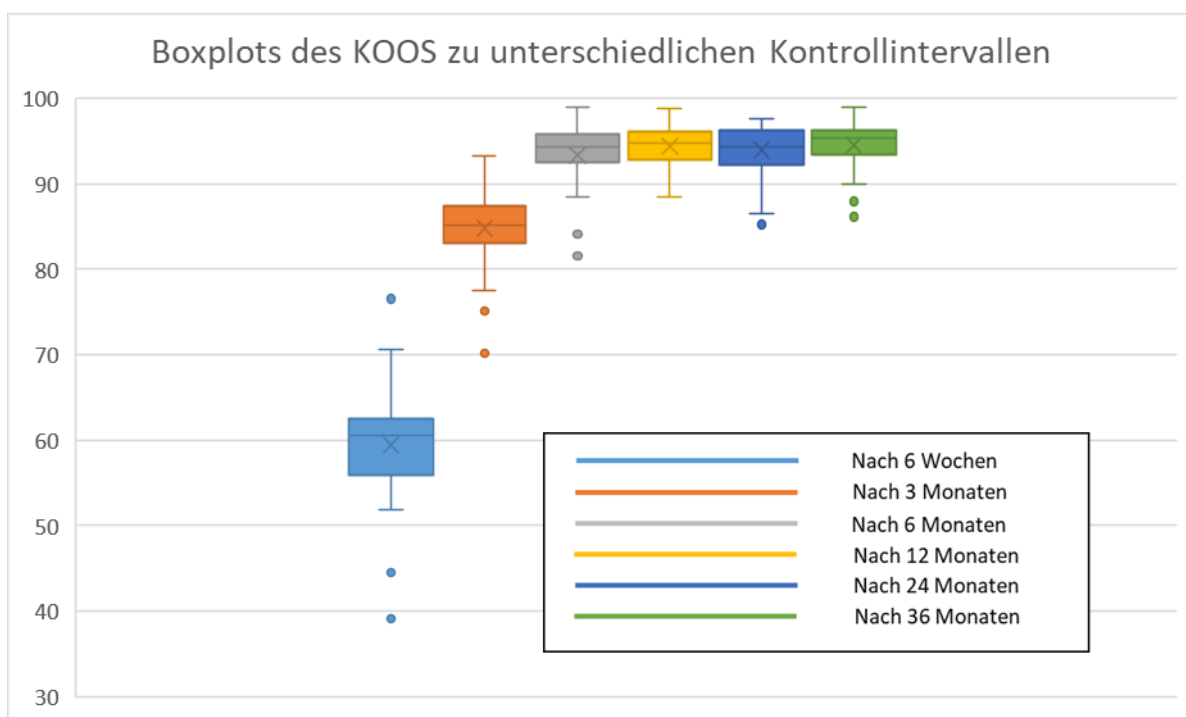


Abb. 3: Boxplots KOOS

In Abb. 4 - 6 werden die Verläufe innerhalb der Gruppen dargestellt. Die Verläufe der Gruppe BV verteilen sich gleichmäßig um den allgemeinen Mittelwert. Das gilt im Prinzip auch für die anderen Gruppen, wobei zwei Aspekte auffallen. In der Gruppe pK weist die Patientin 20 mit der Arthrofibrose einen anfangs verzögerten Heilverlauf auf, ist aber nach 12 Monaten nicht mehr signifikant von den Patientinnen mit Hämatomen zu unterscheiden (Abb. 5). In der Gruppe kA stechen die Patienten 17 und 12 heraus, die deutlich kleinere KOOS-Endwerte weit außerhalb der Standardabweichung erzielen. Beide Patienten sind männlich. Patient 17 ist der älteste Teilnehmer der Studie (36 J.), Patient 12 hat unter den Männern den höchsten BMI (25,74).

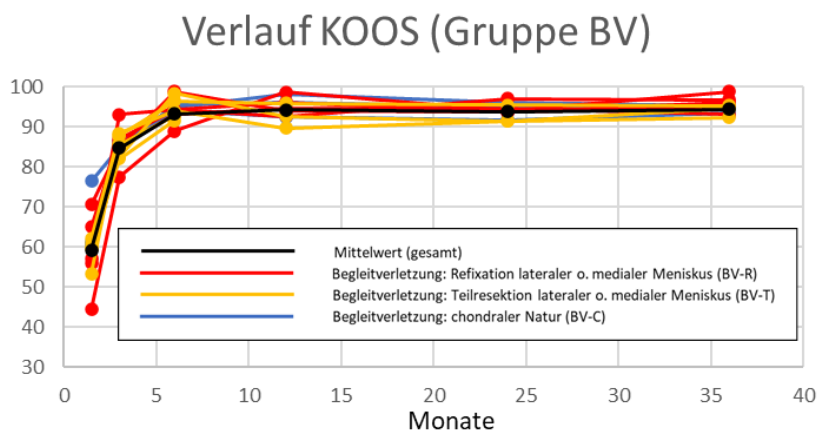


Abb. 4: KOOS-Verläufe in der Gruppe BV

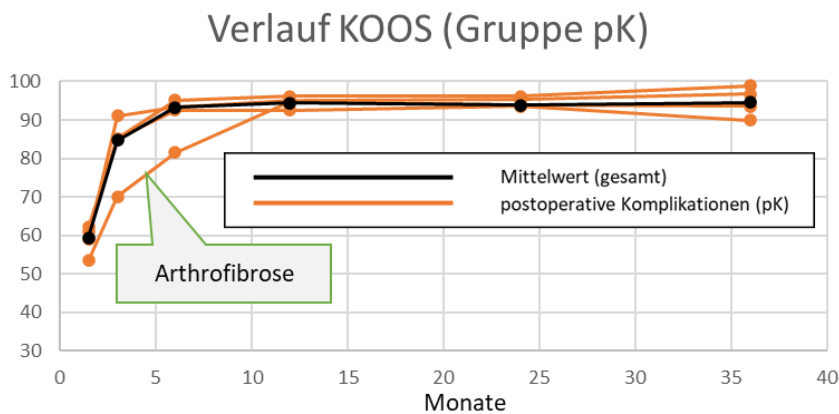


Abb. 5: KOOS-Verläufe in der Gruppe pK

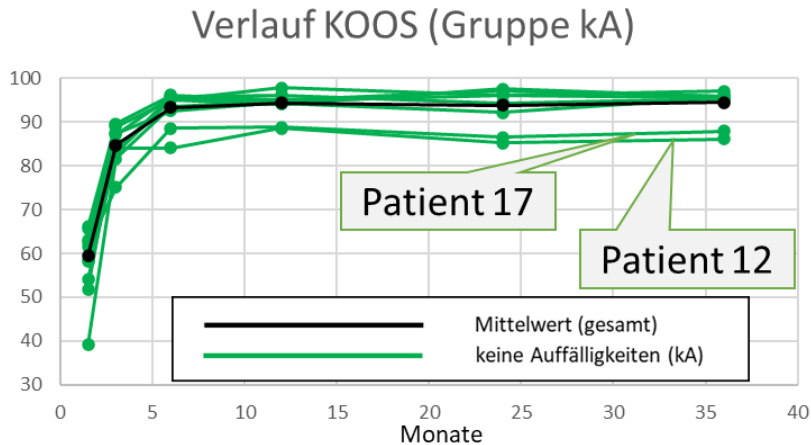


Abb. 6: KOOS-Verläufe in der Gruppe kA

Fast deckungsgleich zum Verlauf des KOOS verhalten sich die Kurven zur ACL-RSI-Skala und zu Lysholm, die beide ebenfalls von 0 bis 100 skaliert sind. Auch hier fallen die Patienten 12 (beide Indizes) und 17 (nur ACL-RSI) mit niedrigeren Endwerten auf. Patientin 20 zeigt erneut verzögerte Verläufe (beide Indizes). Die ACL-RSI-Skala beschreibt subjektiv das Zutrauen des Patienten in sein verletztes Knie. Bei Werten unter 51% fehlt dieses. Bei allen Patienten ist jedoch schon nach 6 Wochen keine signifikante Angst vor einer Retraumatisierung mehr erkennbar.

Der TAS (Skala von 0 bis 10) und der IKDC-Grad (D bis A) verlaufen ähnlich, sind aber deutlich gröber aufgelöst und daher nicht so sensitiv zur Detektion von statistischen Auffälligkeiten. Trotzdem fällt erneut Patient 12 mit schlechten Endwerten auf. Patientin 20 zeigt beim TAS wiederum einen verzögerten Verlauf, der zusätzlich in einen schlechten Endwert mündet. Zum TAS lässt sich festhalten, dass die meisten Patienten nach einem Jahr den präoperativen Ausgangszustand erreichten. Maximal waren sie nur einen Punkt schlechter als vor der OP.

Der KT 1000-Test zeigte nach 3 Jahren eine mediane Seitendifferenz von 1,0mm (Range von 0 bis 3mm). Er zeigt vergleichsweise denselben Verlauf wie die anderen grob aufgelösten Scores, enthüllt jedoch keine individuellen Besonderheiten.

Tab. 3 stellt die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Kontrollparameter über die Zeit dar. Der IKDC-Grad wurde zur Durchführung der Berechnungen in Zahlenwerte reskaliert (D=1, C=2, B=3, A=4).

Tab. 3: Durchschnittswerte (Standardabweichungen) der Parameter (N schrumpft wegen verzogener Patienten)

	präop.	6 Wochen	3 Monate	6 Monate	12 Monate	24 Monate	36 Monate
N	27	27	27	26	25	23	23
KOOS	N/A	59,4 (7,3)	84,7 (4,7)	93,3 (3,9)	94,4 (2,7)	93,9 (3,1)	94,5 (3,1)
Lysholm	N/A	62,7 (5,6)	82,9 (4,8)	93,5 (2,3)	95,2 (2,4)	95,2 (1,9)	95,9 (1,1)
ACL RSI	N/A	64,6 (9,3)	84,4 (6,1)	91,2 (4,7)	95,0 (2,7)	95,0 (3,0)	95,0 (2,6)
TAS	7,1 (1,1)	1,5 (0,6)	3,7 (1,0)	6,5 (1,0)	6,9 (1,2)	6,8 (1,2)	6,8 (1,2)



IKDC (reskaliert)	N/A	1,9 (0,7)	3,3 (0,8)	3,6 (0,7)	3,7 (0,6)	3,7 (0,6)	3,7 (0,6)
Differenz KT1000	6,8 (1,4)	0,6 (0,6)	0,7 (0,6)	0,9 (0,6)	1,0 (0,7)	1,0 (0,7)	1,0 (0,8)

Das durch einen Radiologen ausgewertete MRT nach 6 Monaten dokumentierte bei 24 von 27 Patienten einen unterbrechungsfreien, teils jedoch signalinhomogenen, aber gerichteten Verlauf des vorderen Kreuzbandes in allen 3 Raumebenen. Die Signalinhomogenitäten werden auf das einliegende, nicht resorbierbare Nahtmaterial mit feinsten zentraler Metallseele zurückgeführt und scheinen keine klinische Relevanz zu besitzen (3). Bei 2 Patienten ließ sich die Textur des VKB nicht eindeutig unterbrechungsfrei nachvollziehen, wobei dies bislang nicht mit einem schlechteren klinischen Outcome korreliert ist. Ein Patient war zum Durchführungszeitpunkt bereits verzogen.

Die Befunde der nativradiologischen Kontrollen nach 3 und 12 Monaten waren alle normal, es fanden sich keine Hinweise auf Osteolysen um die Knochenanker.

## Diskussion

Als wichtigstes Resultat der vorliegenden Studie ist festzustellen, dass sich insgesamt einheitliche und reproduzierbare Heilverläufe zeigten, die nach spätestens 12 Monaten abgeschlossen waren. Es wurden exzellente Werte bei KOOS, ACL-RSI und Lysholm erzielt. Bei der TAS erreichten die meisten Patienten ihr präoperatives Niveau, der Rest wich lediglich um einen Skalenwert ab. Beim IKDC-Grad und KT 1000 zeigten sich ähnliche Verläufe. Die Werte sind vergleichbar mit oder besser als Studien zum Einsatz der VKB-Plastik (20), die ihrerseits der konservativen Therapie überlegen ist (10). Es wurde bis auf einen Fall (Arthrofibrose) keine negative Abhängigkeit des Heilverlaufs zu anderen Komplikationen sowie zu Begleitverletzungen am Knorpel oder Meniskus festgestellt. Der deutlich verzögerte Heilverlauf bei der Arthrofibrose glich sich erst nach Narkosemobilisierung an die anderen Verläufe an. 2 Patienten, die signifikant schlechtere Endwerte als der Rest erreichten, zeichnen sich durch hohes Alter respektive hohes BMI aus.

Zunehmend wird in Arbeiten das Heilungspotenzial von VKB-Rupturen durch unterschiedliche Ansätze thematisiert. So wird sowohl im Rahmen einer Metaanalyse von primären Multiligamentversorgungen durch Bandnähte („ligament sutures“) (8) als auch bei isolierten VKB-Refixationen durch Nahtankersysteme (2, 4) sowie bei Anwendung des „Dynamic intraligamentary stabilization (DIS)“-Konzepts (5) durch ein Federsystem über insgesamt gute klinische Ergebnisse und ein vorhandenes Regenerationspotenzial berichtet. Nguyen et al. (13) untersuchten Probenentnahmen im Bereich von fehlinsertierten VKB-Rupturen auf das hintere Kreuzband, bei denen sich im Bereich der Fehlanheftung histologische Regenerationsprozesse nachweisen ließen, die vergleichbar einer spontanen Heilung des verletzten medialen Kollateralbandes sind. Auch wenn die Untersuchungen von Nguyen et al. ein anderes Ziel als die vorliegende Studie verfolgten, lassen die MRT-Befunde in dieser Arbeit ebenfalls Regenerationsprozesse vermuten. Bei Nguyen et al. (13) fand sich neben einer gesteigerten Vaskularität eine hohe Expression von Kollagen Typ 3 sowie alpha-SMA-Molekülen. Ähnliche pathophysiologische, histochemische Prozesse wurden in Tiermodellen nachgewiesen, wobei als Ursache von Nichteinheilung der ungünstige Einfluss der Synovia postuliert wird, welche das spontane Regenerationspotenzial der verletzten Kreuzbänder unterdrückt (12, 22). Dies wird durch eine klinische Kohortenstudie unterstützt, welche bei banderhaltender Operationstechnik mittels DIS

die erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Therapieversagens mit steigendem Anteil des zerrissenen Synovialmantels der Bandstümpfe beschreibt. Diesem wird eine Schutzfunktion vor synovialer Flüssigkeitseinstrom attestiert (1).

Weitere Hinweise für Heilungspotenzial lassen sich aus dem Remnant preservation-Konzept ableiten: das gezielte Belassen von nativen Bandanteilen im Rahmen von VKB-Ersatzplastiken scheint positive Wirkung auf die Propriozeption und Koordination des Gelenkes zu haben (9). Durch Vermeiden des synovialen Einstroms insbesondere in das tibiale Knochen-Transplantat-Interface kann es auch zu einheilungsfördernden Wirkungen mit Vermeiden eines „Tunnel widening“ kommen (23).

Die in der Studie schon nach kurzer Zeit erfassten hohen Werte der ACL-RSI-Skala stützen die Annahme, dass nach korrekter Reposition und Stabilisierung des VKB-Stumpfes dies durch synoviale Mechano- und Propriozeptoren erfasst und an das zentrale Nervensystem als korrektes Stellungsgefühl im Raum weitergeleitet wird. Dadurch könnte das hohe Zutrauen in die eigene Kniefunktion bereits nach 6 Wochen erklärt werden.

Steadman et al. (17, 18) beschreiben ebenfalls eine erfolgreiche Healing response-Reaktion in der Versorgung von femoralen VKB-Rupturen, indem durch das alleinige Freisetzen von mesenchymalen Stammzellen („super clot“) aus der lateralen Femurkondyle und dem Notchbereich ein Einheilen des proximalen Bandstumpfes erreicht wird.

Limitierungen der Studie liegen im Fehlen einer Kontrollgruppe und der Absicherung der Nachuntersuchungen durch zusätzliche histologische Befunde. Einzelstudien zur VKB-Plastik (20) und Metaanalysen (10) können die Kontrollgruppe kompensieren. Eine histologische Untersuchung wurde nicht durchgeführt, da zum einen der MRT-Befund des unterbrechungsfreien Verlaufs die Annahme der fortgeschrittenen Regeneration stützt und zum anderen eine Gewebeentnahme die guten Genesungsverläufe hätte behindern können.

### **Schlussfolgerung**

Die Studie liefert vielversprechende 3-Jahresergebnisse bei ossärer anatomischer Reinsertion proximaler VKB-Rupturen. Dies bestätigt klinische Ergebnisse der Literatur und spricht für regenerativ ablaufende Prozesse, wie sie auch andernorts im menschlichen Körper zu finden sind (12, 22) und die somit einer gezielten Stimulation von außen zugänglich erscheinen. Dabei wird die Synovia als möglicher wichtiger pathophysiologischer Störfaktor angesehen (1).

Entscheidende Erfolgsparameter der OP können eine frühzeitige Diagnostik mit enger Patientenselektion hinsichtlich der Rupturmorphologie und Gewebequalität, eine anatomische stabile Operationstechnik mit dem Erzielen einer möglichst unterbrechungsfreien Adaptation der Bandstümpfe an die ossäre Fläche des Footprintareals sowie die biologische Stimulierung des Heilungsverhaltens durch die Liberation von Stammzellen sein. Die 2 schlechteren Heilverläufe aus der Studie können als Hinweis verstanden werden, dass höheres Alter und hoher BMI als zusätzliche Risikofaktoren in Betracht zu ziehen sind. Die vorgestellte Technik erweitert den bestehenden VKB-Versorgungsalgorithmus und stellt einen möglichen Zwischenschritt zu einer individualisierten VKB-Chirurgie dar.

### **Einhaltung ethischer Richtlinien**

Interessenkonflikt: Es bestehen keine Interessenkonflikte.

## Literatur

1. Ateschrang A, Schreiner AJ, Ahmad SS, Schröter S, Hirschmann MT, Körner D, Kohl S, Stöckle U, Ahrend MD. Improved results of acl primary repair in one-part tears with intact synovial coverage. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019; 27:37-43
2. Bigoni M, Gaddi D, Gorla M, Munegato D, Pungitore M, Piatti M, Turati M. Arthroscopic anterior cruciate ligament repair for proximal anterior cruciate ligament tears in skeletally immature patients: Surgical technique and preliminary results. *Knee* 2017 Jan; 24(1):40-8
3. Daniels SP, van der List JP, Kazam JJ, DeFelice GS. Arthroscopic primary repair of the anterior cruciate ligament: what the radiologist needs to know. *Skeletal Radiolog.* 2018 May; 47(5):619-29
4. DiFelice GS, Villegas C, Taylor S. Anterior cruciate ligament preservation: early results of a novel arthroscopic technique for suture anchor primary anterior cruciate ligament repair. *Arthroscopy* 2015 Nov; 31(11):2162-71
5. Eggli S, Kohlhof H, Zumstein M, Henle P, Hartel M, Evangelopoulos DS, Boenel H, Kohl S. Dynamic intraligamentary stabilization: novel technique for preserving the ruptured ACL.“ *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015; 23(4): 1215-1221
6. Feagin JA, Curl WW. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-year follow-up study. *Am J Sports Med* 1976; 4:95-100
7. Feagin JA Jr, Curl WW. Isolated tear of the anterior cruciate ligament: 5-Year follow-up Study. *Clin Orthop Relat Res* 1976: 4-9.
8. Frosch KH, Preiss A, Heider S, Stengel D, Wohlmuth P, Hoffmann MF, Lill H. Primary ligament sutures as a treatment option of knee dislocations: a meta analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013 Jul; 21(7):1502-9
9. Georgoulis AD, Pappa L, Moebius U, Malamou-Mitsi, Pappa S, Papageorgiou CO, Agnantis NJ, Soucacos PN. The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft.“ *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001 Nov; 9(6):364-8
10. Krause M, Freudenthaler F, Frosch KH, Achtnich A, Petersen W, Akoto R. Funktionsgewinn durch die VKB-Plastik. *Knie J.* 2019; 1:97-102
11. Marshall JL, Warren RF, Wickiewicz TL. Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament lesions. *Am J Sports Med* 1982; 10:103-7
12. Murray Martha M. Current status and potential for primary acl repair. *Clin Sports Med* 2009 Jan; 28(1):51-8
13. Nguyen DT, Ramwadhoebe TH, van der Hart CP, Blankevoort L, Tak PP, van Dijk CN. Intrinsic healing response of the human anterior cruciate ligament: an histological study of reattached ACL remnants.“ *J Orthop Res.* 2014 Feb; 32(2):296-301
14. Perthes, G. Über die Wiederbefestigung des abgerissenen vorderen Kreuzbandes im Kniegelenk. *Zentralblatt für Chirurgie* 1926; 53:866-72
15. Robson AW. VI. Ruptured Crucial Ligaments and their Repair by Operation. *Ann Surg* 1903 May; 37(5):716-8
16. Sherman MF, Lieber L, Bonamo JR, Podesta L, Reiter I. The long-term follow-up of primary anterior cruciate ligament repair: Defining a rationale for augmentation. *AM J Sports Med* 1991; 19:243-55
17. Steadman JR, Cameron-Donaldson ML, Briggs KK, Rodkey WG. A minimally invasive technique („healing response“) to treat proximal ACL-injuries in skeletally immature athletes. *J Knee Surg.* 2006 Jan; 19(1):8-13

18. Steadman JR, Matheny LM, Briggs KK, Rodkey WG, Carreira DS. Outcomes following healing response in older, active patients: a primary anterior cruciate ligament repair technique. *J Knee Surg.* 2012 Jul; 25(3):255-60
19. Strand T, Mølster A, Hordvik M, Krukhaug Y. Long-term follow-up after primary repair of the anterior cruciate ligament: clinical and radiological evaluation 15–23 years postoperatively. *Arch Orthop Trauma Surg* 2005; 125:217-21
20. Struewer J, Frangen TM, Ishaque B, Bliemel C, Efe T, Ruchhholtz S, Ziring E. Knee function and prevalence of osteoarthritis after isolated anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone graft: long-term follow-up. *Int Orthop* 2012; 36:171-7
21. Tjoumakaris FP, Donegan DJ, Sekiya JH. Partial tears of the anterior cruciate ligament: diagnosis and treatment. *Am J Orthop* 2011; 40:92-7
22. Vavken P, Murray MM. The potential for primary repair of the acl. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2011 Mar; 19(1):44-9
23. Zhang Q, Zhang S, Cao X, Liu L, Liu Y, Li R. The effect of remnant preservation on tibial tunnel enlargement in ACL reconstruction with hamstring autograft: a prospective randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014 Jan; 22(1):166-73