

Klinische Ergebnisse nach primärer Reparatur von frischen vorderen Kreuzbandrissen
mit der Healing Response Technik – 2-Jahres Ergebnisse einer prospektiven Studie

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Spor, Leo Georg Alexander
aus Würzburg

Gießen 2020

Aus der Poliklinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie Prof. Dr. med. Stürz des
Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter: PD Dr. med. E. Basad

Gutachter: Prof. Dr. med. Dr. h.c. Heiß

Tag der Disputation: 04.11.2020

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	1
1.1	Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbands	2
1.2	Inzidenz von VKB-Rupturen	6
1.3	Behandlungskonzepte	7
1.3.1	Konservative Therapie	7
1.3.2	Operative Therapie	8
1.4	Fragestellungen	11
2	Patienten und Methodik	13
2.1	Patientenauswahl und Studienablauf	13
2.2	Operative Technik	14
2.3	Nachuntersuchungen	17
2.4	Statistische Methoden	22
3	Ergebnisse	24
3.1	Demografische Daten	24
3.2	Subjektive Kniefunktion	26
3.3	Schmerzempfinden	28
3.4	Begleitsymptome bei Aktivität	31
3.5	Bewegungsausmaß	34
3.6	Subjektive Zufriedenheit (Lysholm-Gillquist-Score)	36
3.7	Funktionalität des Kniegelenks –Tegner-Aktivitäts-Score (TAS)	39
3.8	Klinische Stabilität	41
3.9	Seitendifferenz (KT-1000-Messung)	43
3.10	VKB-Kontinuität (MRT-Daten)	46
3.11	Unerwünschte Ereignisse	47
4	Diskussion	48
4.1	Therapie der VKB-Ruptur – derzeitiger Stand	48
4.2	HR als neue Therapieoption	51
4.3	Ergebnisse nach HR – objektive Kriterien	53
4.4	Ergebnisse nach HR – Patientensicht	57
4.5	Unerwünschte Ereignisse	57
4.6	Limitationen der Studie	58
4.7	Ausblick und Schlussfolgerung	59

5	Zusammenfassung	60
6	Abbildungsverzeichnis.....	62
7	Abkürzungsverzeichnis.....	66
8	Literaturverzeichnis	67
9	Anhang	78
10	Publikationsverzeichnis	88
11	Ehrenwörtliche Erklärung	89

1 Einleitung und Fragestellung

Die Kreuzbänder des Kniegelenks wurden bereits 3000 Jahre v. Chr. auf einer ägyptischen Papyrusrolle erwähnt. Das vordere (VKB) und hintere Kreuzband (HKB) bilden die zentrale ligamentäre Achse des Kniegelenks. Bis heute gilt die von Galen (Pergamon / 129–199 n. Chr.) geprägte Bezeichnung "ligamenta genu cruciata". 1895 dokumentierte Robson erstmals einen rekonstruktiven Eingriff am VKB mittels einer Primärnaht. In der Folge konnte die Primärnaht sich jedoch nicht als Therapieoption etablieren. Zahlreiche Forschungsbemühungen widmeten sich seitdem insbesondere der Wiederherstellung der Funktion des häufiger von einer Ruptur betroffenen VKB. Mit dem technischen Fortschritt in der Medizin und dem Aufkommen der Arthroskopie in den 1980er Jahren entstanden erste erfolgreiche therapeutische Ansätze.

Ursache für eine VKB-Ruptur sind meist Sportverletzungen, die mit einem Kontrollverlust und Rotationstrauma des Kniegelenks einhergehen. Der Riss des VKB ist eine komplexe Verletzung mit Stabilitätsverlust und Störungen in der Propriozeption. Er zählt zu den häufigsten Bandverletzungen des Kniegelenks. Aktuell gilt die Entfernung der Kreuzbandstümpfe mit anschließender arthroskopischer Kreuzbandplastik mittels autologer Sehnen (meist Semitendinosus- und Gracilis-Sehne) als Goldstandard unter den Behandlungsoptionen. Der Eingriff ist auch heute trotz guter arthroskopischer Verfahren und verschiedener Verankerungsprinzipien technisch komplex und in der Nachbehandlung anspruchsvoll. Eine schnelle Reparatur und Rehabilitation sind besonders für junge Patienten wichtig, um ihnen eine Rückkehr in Beruf, Ausbildung und sportliche Aktivität zu ermöglichen. Ein Teil der Patienten stuft die VKB-Plastik jedoch als suboptimal ein. Vor allem die Wiederaufnahme von Sportarten, in denen die Pivot-Technik angewendet wird, und von Wettkampfsport ist problematisch. Der Ersatz des originären Kreuzbands durch eine autologe Sehne führt zum Verlust der propriozeptiven Funktionen. Außerdem beinhaltet die Verwendung autologer Sehnen eine Schwächung der VKB-Agonisten. Ferner birgt die technisch anspruchsvolle VKB-Rekonstruktion durch eine ungenaue Platzierung der Bohrkanäle während des rekonstruktiven Eingriffs das Risiko einer Rezidiv-Instabilität. Das Einbringen von synthetischen und metallischen Implantaten zur Verankerung der Sehnen kann zu Unverträglichkeiten und Knochendefekten führen.

Rein konservative Therapien mit Orthesen oder die herkömmliche VKB-Naht sind keine Alternativen, um ein hohes sportliches Leistungsniveau zu erzielen. In der Literatur

werden primär erhaltende Techniken zur Therapie von frischen VKB-Verletzungen beschrieben. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Healing-Response (HR) ist eine Kreuzband-erhaltende minimalinvasive operative Alternative mit strengem Indikationsrahmen, mit dem Ziel der Aktivierung einer Primärheilung der verletzten Kreuzband-Fasern. Die nachfolgende prospektive Arbeit stellt die 2-Jahres-Ergebnisse eines mit der HR-Methode behandelten Patientenkollektivs mit frischen Teilrupturen des VKB vor.

1.1 Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbands

Das VKB und HKB bilden zusammen einen zentralen Pfeiler des Kniegelenks **[Jakob und Stäubli 1990]**. Der anatomische Aufbau, die Position im Gelenk und die sensorische Innervation sind wichtige Voraussetzungen, damit die Kreuzbänder ihre Hauptfunktion, die aktive und passive Stabilisierung des Kniegelenks, erfüllen können.

Das VKB hat seinen Ursprung in den hinteren Anteilen der Fossa intercondylaris, der Innenfläche des Condylus lateralis des Femurs (s. Abb. 1). Dieser Bereich ist oval oder halbmondartig geformt **[Petersen und Tillmann 2002]** und hat einen durchschnittlichen Längs- bzw. Querdurchmesser von 18 mm bzw. 11 mm **[Odensten und Gillquist 1985]**. Von dort aus verläuft das VKB "hosentaschenförmig" nach distal-vorne-medial zum mittleren Anteil der Area intercondylaris tibiae, zwischen dem Tuberculum intercondylare mediale und laterale, wo es ansetzt. Auch hier ist das VKB oval geformt und dehnt sich in der Sagittalebene durchschnittlich 17 mm und in der Transversalebene 11 mm aus **[Amis und Dawkins 1991, Arnoczky 1983, Girgis et al. 1975, Odensten und Gillquist 1985]**. Die VKB-Länge variiert zwischen 22 und 41 mm **[Amis und Dawkins 1991, Odensten und Gillquist 1985, Zantop et al. 2006]**, wobei im mittleren Drittel seine Querschnittsfläche am kleinsten ist.

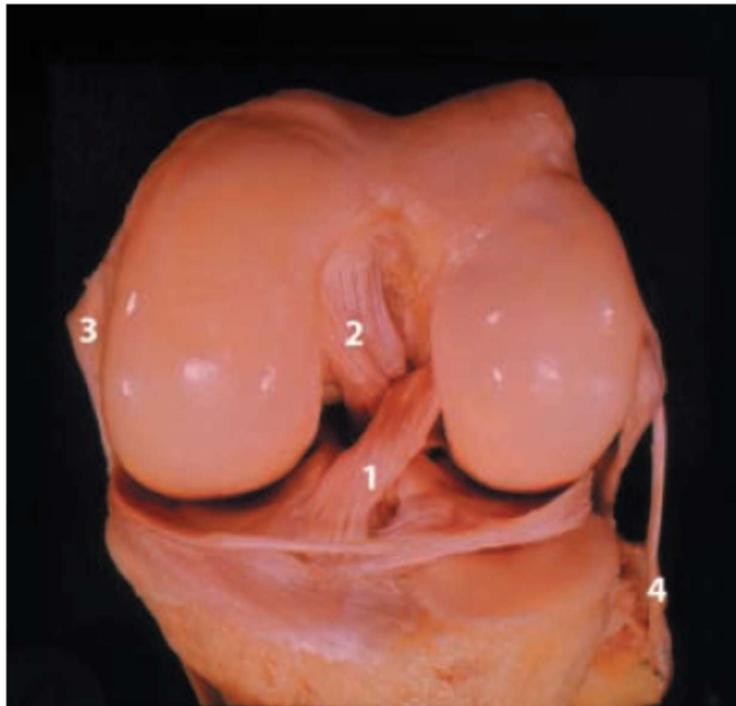


Abb. 1: Ansicht eines gebeugten linken Kniegelenks von vorn mit Darstellung der Kreuzbänder, der Kollateralbänder und der Menisken [verändert nach Petersen und Tillmann 2002].

Zur Demonstration der Faserbündel der Kreuzbänder wurde die Synovialmembran abpräpariert. (1 Ligamentum (Lig.) cruciatum anterius, 2 Lig. cruciatum posterius, 3 Lig. collatarale tibiale, 4 Lig. collaterale fibulare)

Die Kreuzbänder liegen aufgrund ihrer embryonalgeschichtlichen Entwicklung, bei der sie von Synovia überzogen in das Kniegelenk hineinwachsen, intrakapsulär (innerhalb der fibrösen Kapsel des Kniegelenks) aber extraartikulär (außerhalb der von der Synovialmembran begrenzten Gelenkhöhle).

Strukturell besteht das VKB hauptsächlich aus Typ-I- und Typ-III-Kollagen. Das Typ-I-Kollagen gewährleistet eine hohe Zugfestigkeit, während das Typ-III-Kollagen eine hohe Viskoelastizität besitzt, die die im Bindegewebe verlaufenden Gefäße schützt und eine gelenkstellungsabhängige Rekrutierung verschiedener Faserbündel des VKB ermöglicht [Petersen und Tillmann 2002].

Das VKB besitzt chondral apophysäre Bandansätze [Petersen und Tillmann 2002]. Hierbei erfolgt die Bandinsertion am Knochen über den in Richtung Knochen zunehmend mineralisierten Faserknorpel. In diesem Bereich lassen sich vier Schichten unterscheiden (s. Abb. 2). Die erste Schicht des Faserknorpels umschließt das Band vollständig. Die folgende Schicht besteht aus nicht-mineralisiertem Knorpel und Zellen,

die sich entlang der Kollagenfasern ausrichten. Die dritte Schicht enthält mineralisierten Knorpel, der in der vierten Schicht in die subchondrale Knochenplatte übergeht [Fu et al. 1999]. Die Aufgabe dieser Übergangszone besteht in der Angleichung der unterschiedlichen Elastizität des Knochens und des Bands [Cooper und Misol 1970] und der Minimierung der Belastung der Kollagenfaserbündel [Fu et al. 1999].

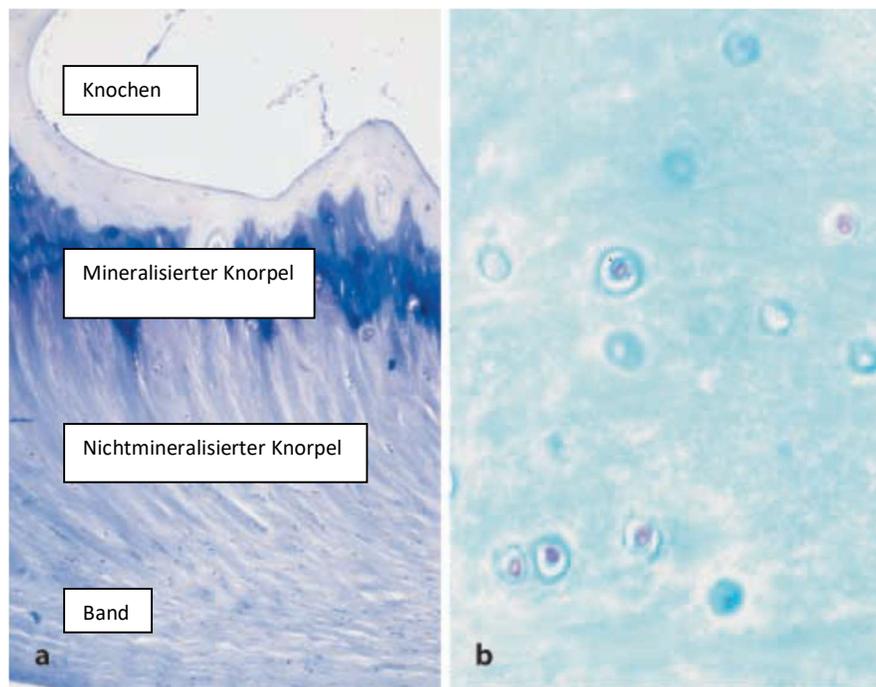


Abb. 2: Chondraler Bandansatz [verändert nach Petersen und Tillmann 2002]

a: Histologische Darstellung des femoralen Ursprungs des Ansatzes des vorderen Kreuzbands (VKB). Das straffe Bindegewebe inseriert über eine Zone aus Faserknorpel am Knochen von Femur und Tibia. Zum Knochen hin ist der Faserknorpel mineralisiert (Vergr. 30:1).

b: Histochemischer Nachweis sulfatierter Glykosaminoglykane im Bereich der tibialen Insertionszone mit Alcianblau bei pH 1. Die intensiv blaue Färbung des Faserknorpels belegt die hohe Konzentration sulfatierter Glykosaminoglykane in diesem Bereich (Vergr. 30:1).

Die Blutversorgung des VKB erfolgt über ein Gefäßnetz entlang des Bandverlaufs, welches mit den Endästen der Arteria (A.) genu media und der A. genu medialis und lateralis verbunden ist. In der Ansatzzone des VKB und im Bandzentrum fehlen Blutgefäße [Arnoczky et al. 1979, Petersen und Tillmann 2002].

Das VKB besteht aus zahlreichen, nicht parallellaufenden Fasern, die sich histologisch nicht eindeutig in Bündel unterteilen lassen [Petersen und Tillmann 2002]. Dennoch

wird meist zwischen dem anteromedialen Bündel (AM) und dem posterolateralen Bündel (PL) unterschieden [Girgis et al. 1975, Zantop et al. 2006]. Bei flektiertem Knie ist das AM-Bündel angespannt und das PL-Bündel entspannt. Bei einer Extension ist dagegen das PL-Bündel angespannt und das AM-Bündel relativ entspannt [Zantop et al. 2006]. Auch die Bandform hängt von der Gelenkposition ab. In Extension sind die Faserbündel nach außen gedreht, wohingegen sie sich in Flexion zu einem Strang verdrillen (s. Abb. 3).

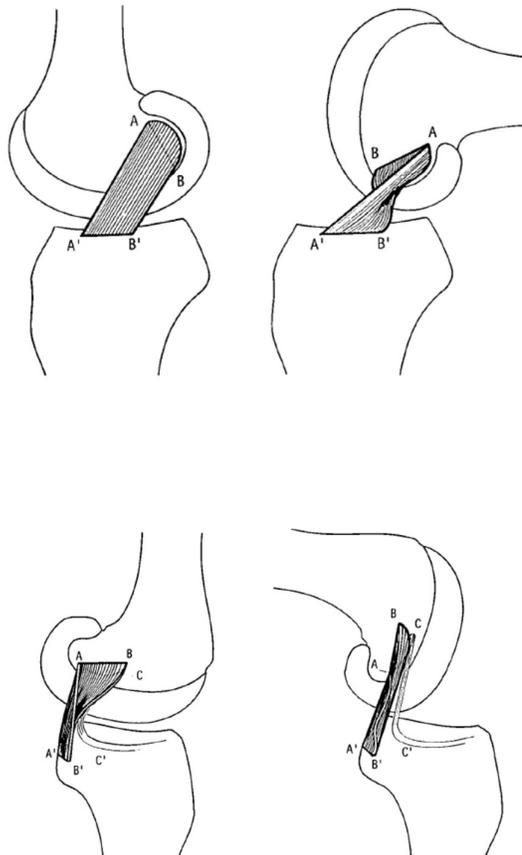


Abb. 3: Schematische Darstellung des vorderen (oben) und hinteren Kreuzbands (unten) in Knieextension (links) und Flexion (rechts) [verändert nach Girgis et al. 1975].

Zu den wesentlichen Funktionen des VKB gehört die Vermeidung einer zu großen Verschiebung der Tibia gegenüber dem Femur nach vorne (Translation). Das AM- und PL-Bündel werden dabei in Abhängigkeit vom Grad der Kniebeugung unterschiedlich belastet [Sakane et al. 1997]. Ferner dient das VKB der Rotationssicherung des Kniegelenks, sowohl gegen Außenrotation [Girgis et al. 1975] als auch gegen Innenrotation [Petersen und Tillmann 2002]. Der Anteil des VKB an der Sicherung

gegen Varus- und Valgus-Stress ist dagegen gering **[Petersen und Tillmann 2002]**. Weiterhin ist das VKB für den reibungslosen Ablauf der Roll-Gleit-Bewegung des Kniegelenks von Bedeutung. Zum einen wird der Ablauf durch die Bandführung des VKB (und des restlichen Bandapparats) harmonisiert, zum anderen sorgen Neurorezeptoren (Vater-Pacini-Körperchen, Ruffini-Körperchen, Golgi-Rezeptoren, Mechano-Rezeptoren und freie Nervenendigungen) für eine optimale Gelenkstabilität und Bewegungskontrolle **[Jerosch und Prymka 1996, Johansson et al. 1991, Petersen und Tillmann 2002, Solomonov und Kroogsgaard 2001]** unter Einbeziehung der das Knie stabilisierenden Muskulatur.

Beim verletzungsbedingten Ausfall des VKB führt die chronische Instabilität zu einer gesteigerten und unphysiologischen Belastung der übrigen Strukturen des Kniegelenks (Menisken, Knorpel, Gelenkkapsel, HKB, Kollateralbänder). Ohne adäquate Behandlung der Gelenkinstabilität treten Schmerzen auf und es kommt zu Bewegungseinschränkungen mit Folgeschäden der überbelasteten Strukturen sowie zu einem Anstieg der Arthrose-Inzidenz **[Andersson et al. 1991, Fink et al. 1996, Kannus und Järvinen 1987, Mc Daniel und Dameron 1980, Noyes et al. 1974]**. Zahlreiche Studien belegen, dass eine VKB-Verletzung sich auf den gesamten Körper inklusive der Bewegung von Kopf und Rumpf auswirkt **[Barrack et al. 1989, Dhillon et al. 2011, Ingersoll et al. 2008, Pap et al. 1999, Reed-Jones und Vallis 2007]**. Kreuzband-Verletzungen werden häufig von einer Mikro- oder Makro-Instabilität mit periartikulären Funktionsstörungen der Muskulatur und pathologischen Bewegungsmustern begleitet. Nicht selten kommt es zu Folgeverletzungen durch erneutes Verdrehen des Kniegelenks. Langfristig bewirkt das Fehlen dieser Bandstruktur eine Einschränkung der körperlichen bzw. sportlichen Aktivität und der Lebensqualität.

1.2 Inzidenz von VKB-Rupturen

Das Kniegelenk ist das am häufigsten verletzte Gelenk des menschlichen Körpers **[Fink et al. 1994]**. Ursachen sind eine fehlende Muskelsicherung sowie die Notwendigkeit, es bei fast jeder sportlichen Aktivität zu belasten und somit gegenüber einem Verletzungsrisiko zu exponieren. Vor allem junge Menschen zwischen 20–29 Jahren erleiden häufig Traumata mit konsekutiven Verletzungen des Knieband-Apparates **[Clayton und Court-Brown 2008]**. Die Häufigkeit des Auftretens von VKB-Rupturen hängt vom Aktivitätsgrad und der Art des Sportes ab **[Pakkari et al. 2004, 2008]**. Hochrisiko-Sportarten sind Eishockey, Handball, Fußball, Alpin-Ski sowie Basketball **[De Loës et al. 2000, Prodromos et al. 2007]**. Die jährliche Verletzungsrate wird mit 8,1–36,9 VKB-Verletzungen pro 100.000 Einwohner beziffert **[Clayton und Court-**

Brown 2008, Gianotti et al. 2009]. Die Verletzungswahrscheinlichkeit bei Frauen liegt zwei- bis dreimal so hoch wie bei Männern [**De Loës et al. 2000, Ingram et al. 2008, Prodromos et al. 2007**], wobei die Gesamtanzahl an Verletzungen geringer ist [**Clayton und Court-Brown 2008, Prodromos et al. 2007**]. Insgesamt sind am häufigsten Freizeitsportler in Risikosportarten von VKB-Rupturen betroffen [**Prodromos et al. 2007**].

1.3 Behandlungskonzepte

Alle konservativen und operativen Therapieoptionen eines verletzten Kreuzbands zielen darauf ab, Instabilitäten und die progressive Zerstörung der Gelenkstrukturen durch wiederholte Subluxationen zu verhindern [**Fink et al. 1996**].

1.3.1 Konservative Therapie

Das Ziel der konservativen Therapie ist die Reduktion der Instabilität durch einen gezielten Muskelaufbau. Eine strukturelle Wiederherstellung des gerissenen Kreuzbands unterbleibt. Das Augenmerk der konservativen Therapie liegt auf einer Kräftigung der das Kniegelenk stabilisierenden Muskulatur (speziell der Kniebeugemuskulatur: Musculus (M.) biceps femoris, M. semitendinosus, M. semimembranosus) sowie einer Verbesserung der propriozeptiven Fähigkeiten [**Diekstall und Rauhut 1999, Fink et al. 1996, Hinterwimmer et al. 2003**]. Dieses Konzept kann erfolgreich sein, sofern der Patient auf "High-risk activities" (Risikosportarten wie Fußball, Basketball, Handball, Alpin Ski, schwere körperliche Arbeit) verzichtet [**Beynon et al. 2005**]. Studien belegen Erfolgsraten von bis zu 70 %. Dennoch verweisen alle Untersuchungen darauf, dass die ursprüngliche, prätraumatische Vollbelastung nicht immer erreicht wird [**Buss et al. 1995, Casteleyn und Handelberg 1996, Ciccotti et al. 1994, Giove et al. 1983, Jokl et al. 1984**]. Für Patienten mit einem hohen Aktivitätsgrad, einem wiederkehrenden "Giving way" (eine Verschiebung der Tibia nach vorne gegenüber dem Femur), einem regelmäßigen Instabilitätsgefühl, einem schlaffen Bandapparat oder einer zusätzlichen Verletzung der Bandstrukturen des Knies bleibt eine Operation (OP) die Therapie der Wahl.

1.3.2 Operative Therapie

Resektion

Die bis in die 1970er Jahre verbreitete Praxis der Resektion des VKB-Stumpfes soll einer Bindegewebs-Hypertrophie (Zyklops) vorbeugen. Bei Kreuzband-losen Patienten kommt es jedoch bei gleichbleibender Aktivität zu einer progredienten Instabilität mit Schädigung von Knieinnenstrukturen (Gelenkknorpel und Menisken) und Folgeschäden (Arthrose, Instabilität und Knorpelschäden) **[Beynon et al. 2005]**. Die Resektion hat keinen therapeutischen Effekt. Meist werden Patienten nach Stumpfresektion sekundär einer VKB-Plastik zugeführt.

Kreuzbandplastik durch Sehngewebe

Aktuell ist der plastische Bandersatz die Standardbehandlung von Kreuzband-Rupturen **[Lyman et al. 2004]**. Unterschieden werden Autografts (körpereigenes Material) und Allografts (Material anderer Menschen).

In den vergangenen 20–30 Jahren wurden Allografts – insbesondere im anglo-amerikanischen Raum – aufgrund folgender Vorteile verwendet:

- keine Entnahmemorbidity
- verminderte OP-Zeit

Nachteile bei der Verwendung von Allografts sind **[Baer und Harner 2007]**:

- Infektionsrisiko durch Viren oder Prionen
- hohe Beschaffungskosten (Spenderorganisation, Aufbereitung, Aufbewahrung)
- verminderte biologische Kompatibilität und Qualität (verzögertes An- und Einwachsen)
- Gefahr einer Immunreaktion
- Veränderung der Transplantateigenschaft durch Desinfektion- und Lagerung.

Heute werden meist Autografts **[Baer und Harner 2007]** aus patienteneigenem Spendermaterial eingesetzt. Häufig werden das mittlere Drittel der Patellar-Sehne bzw. der Quadriceps-Sehne oder „Hamstrings“ bestehend aus der Semitendinosus- und der

Gracilis-Sehne verwendet **[Baer und Harner 2007, Frank und Jackson 1997, Kapoor et al. 2004]**. Legt man die Semitendinosus-Sehne vierfach, sind die klinischen und funktionellen Ergebnisse vergleichbar mit denen bei der Verwendung der Patellar-Sehne **[Anderson et al. 2001, Beynnon et al. 2005]**. Die arthroskopische Kreuzband-Rekonstruktion mit autologen Sehnen ist aktuell das Mittel der Wahl. Die umfangreiche Studienlage zu der etablierten und erfolgreichen Technik beschreibt unterschiedliche Transplantat-Typen und Verankerungstechniken.

Synthetischer Bandersatz

Anfang bis Mitte der 1980er Jahre wurde der VKB-Ersatz durch synthetische Materialien wie Goretex®, Dacron®, Leeds-Keio-Band, Stents, LAD (Ligament Augmentations-Band) oder Gerüste ("Scaffolds") favorisiert. Als Vorteile dieser Methode galten die fehlende Entnahmemorbidität und die sofortige Belastbarkeit des Kniegelenks. Die synthetischen Materialien blieben jedoch hinsichtlich ihrer Haltbarkeit, Belastbarkeit und Stabilitätssicherung für das Kniegelenk hinter den Erwartungen zurück **[Moyen und Lerat 1994]**. Außerdem traten vermehrt Fremdkörperreaktionen, chronische Gelenkentzündungen und Arthrofibrosen auf. Heute haben synthetische Ersatzmaterialien für die Behandlung von Kreuzband-Rissen keinen Stellenwert mehr **[Beynnon et al. 2005, Fu et al. 2000]**.

Banderhalt durch Refixation und Augmentation

Unter bestimmten Umständen ist auch eine primäre Einheilung des VKB möglich. Dies wurde zunächst vereinzelt bei Patienten mit Subtotalrissen beobachtet. Sporadische Ausheilungen von vernähten oder ruhiggestellten Kreuzbändern wurden dokumentiert. Diese Befunde steigerten das Interesse an weniger invasiven Verfahren ohne Entnahmemorbidität **[Bucher et al. 2010]**.

Bereits in den 1930er Jahren wurden Versuche unternommen, das VKB durch eine Naht wieder anzuheften. Dabei wurde mittels Mini-Arthrotomie eine Durchzugsnaht durch den VKB-Stumpf und das proximale Femur gelegt. Die Versagerquote betrug 40–50 % innerhalb der ersten fünf Jahre **[Frank und Jackson 1997]**. Als Ursache wurden folgende Faktoren identifiziert:

- **Morphologie:** Der VKB-Stumpf verliert durch Dislokation den Kontakt zur Ausrisszone und findet keinen Anschluss für eine narbige Restitution.
- **Biologie:** Dem bradytrophen Bandgewebe fehlen bei einer Verletzung eine ausreichende Durchblutung und mesenchymale Stammzellen in der Ausrisszone, die für eine Gewebsregeneration wichtig sind.

- **Zeitfaktor:** Der Kreuzband-Stumpf zieht sich innerhalb weniger Wochen durch eine narbige Kontraktur zurück und verliert an Vitalität.

Vor diesem Hintergrund erweckten die Studien von ARNOCZKY et al. [1979] und RODKEY et al. [2006], die eine VKB-Primärheilung beschreiben, ein breites Interesse. Eine kontrollierte Primärheilung macht einen Bandersatz unnötig und verhindert die damit verbundenen Risiken und Komplikationen.

Zu der von STEADMAN et al. [2006] vorgestellten HR-Methode existieren bisher nur wenige Studien. Dieses primäre Reparaturverfahren basiert auf der Hypothese, dass die Eröffnung der Knochenplatte am VKB-Ansatz und -Ursprung zu einer Knochenmarksstimulation führt. Über die Einblutung in den Synovialschlauch gelangen mesenchymale Stammzellen in die Reparationszone. Für eine primäre Heilung ist eine anatomische Position des gerissenen Kreuzbands unabdingbar [Babb et al. 2008, Fu et al. 1999, Murray 2009].

Trotz fehlender Evidenzen wird für einen banderhaltenden Eingriff generell ein Zeitfenster von 3 Wochen nach der Ruptur angenommen. Danach kommt es zu einer Verkürzung und pilzförmigen Verformung des Stumpfes. Der Vorgang ist vergleichbar mit einer entwurzelten Pflanze, die beim Einbringen in die Erde weiterwachsen kann, solange die freiliegenden Wurzeln nicht vertrocknet sind. Als günstige Voraussetzungen für eine Primärheilung gelten eine möglichst proximale Ruptur und ein intakter Synovialschlauch des VKB.

Für den Erfolg einer Primärheilung sind folgende Faktoren ausschlaggebend [Babb et al. 2008, Murray 2009, Gulotta und Rodeo 2007, Hefti et al. 1991]:

- Zeitraum zwischen Verletzung und Versorgung
- Schweregrad der Verletzung (Erhalt des Synovialschlauches)
- biologisches Alter (Regenerationsfähigkeit) des Patienten
- Verfügbarkeit von Stammzellen und Wachstumsfaktoren (Durchblutung der Reparationszone)
- Reponierbarkeit der gerissenen Anteile sowie mechanische Stabilisierung der Risszone (Morphologie)
- Rehabilitationsprogramm zur Zugentlastung der Reparaturzone

Aktuell stehen folgende VKB-erhaltende Techniken zur Verfügung [**Beynon et al. 2005, Fu et al. 2000**]:

- **Healing Response:** Implantat-freie, knöcherne Re-Insertion des proximal ausgerissenen VKB-Stumpfes durch Verklebung in einer femoralen Knochenrinne
- **Anker-Refixation (Naht):** direkte Refixation des proximalen VKB-Stumpfes mittels bio-resorbierbarer Fadenanker
- **Ligament-Bracing:** Kombination aus VKB-Refixation (Naht) und interner Stabilisierung des Kniegelenks unter Zuhilfenahme eines synthetischen Augmentationsbands und Verankerung mittels Buttons
- **Dynamische intraligamentäre Stabilisierung (DIS) durch das Ligamys-Verfahren:** implantierbares Federsystem mit Augmentationsfaden, das eine Längenveränderung des Fadens erlaubt.

Als weitere Option wurde eine VKB-Naht mit Augmentation durch Gewebe oder Ersatzmaterial angedacht. Bei den untersuchten Methoden wurde unter anderem synthetisches Ersatzmaterial eingesetzt. Auch diese Verfahren zeigten in den klinischen Studien nicht immer zufriedenstellende Ergebnisse [**Beynon et al. 2005, Fu et al. 2000**].

1.4 Fragestellungen

Aufgrund der unzureichenden Evidenzlage in der Literatur bezüglich der klinischen Ergebnisse der HR-Methode bei einer VKB-Ruptur wurden in der vorliegenden prospektiven klinischen Arbeit folgende Fragestellungen untersucht:

- Verbessert eine HR-Therapie nach VKB-Ruptur den Outcome aus Sicht der Patienten?
- Sind die potenziell auftretenden Verbesserungen objektiv messbar?
- Ist in der Magnetresonanztomografie (MRT) eine VKB-Kontinuität der Kreuzbänder nach der HR nachweisbar?

Die vorliegende Arbeit stellt die 2-Jahres-Ergebnisse einer prospektiven Single-Center Studie vor. Im Rahmen dieser Studie wurden folgende Parameter erhoben:

- demografische Daten
- subjektive Kniefunktion (Fragebogen)
- Schmerzempfinden (Fragebogen)
- Begleitsymptome bei Aktivität (Fragebogen)
- Bewegungsausmaß (Fragebogen)
- subjektive Zufriedenheit (Lysholm-Gillquist Score)
- Funktionalität des Kniegelenks (Tegner-Aktivitäts-Score (TAS), ICRS-Score)
- Seitendifferenz der beiden VKBs bei der Messung mittels KT-1000-Arthrometer
- VKB-Kontinuität und Morphologie (MRT)
- unerwünschte Ereignisse

2 Patienten und Methodik

2.1 Patientenauswahl und Studienablauf

Die Studie wurde von Ethikkommission der Justus-Liebig-Universität Giessen (Ethikantrag-Nummer: AZ 94/07) am 05.07.2007 genehmigt.

Nachfolgend werden der Studienablauf und die Selektionskriterien für die HR-Studie an der orthopädischen Klinik der Justus-Liebig-Universität Giessen dargestellt.

Einschlusskriterien:

- frische VKB-Verletzung (nicht älter als 3 Wochen)
- Patientenalter zwischen 18 und 45 Jahren
- Intaktheit von mindestens 25 % der VKB-Fasern
- weitgehend intakte synovialen Ummantelung (Blutversorgung)
- American Society of Anesthesiologists (ASA) Klassifikation I oder II
- Patienteneinverständnis

Ausschlusskriterien:

- Body Mass Index (BMI) > 30 kg/m²
- Rheumatoide Arthritis
- Diabetes mellitus
- maligne Erkrankungen
- chronische Instabilität der Kollateralbänder oder des HKB
- ausgeprägte Meniskusresektion (> 70 %)
- größere Gelenknorpeldefekte (> 8 cm²)

Die Vorstellung der Patienten erfolgte über die Kniesprechstunde in der Ambulanz der orthopädischen Klinik des Universitätsklinikums Giessen. Patienten mit akutem Knie Trauma wurden grundsätzlich ohne Wartezeit einbestellt; ein MRT des Knies wurde

zeitnah angefertigt. Erfüllte der Patient die oben genannten Ein- und Ausschlusskriterien, erfolgte eine Aufklärung über die Möglichkeit einer HR-Behandlung. Dabei wurde die Kreuzband-erhaltende HR-Technik als Alternative zur Kreuzband-Plastik dargestellt. Bei Zustimmung zur Studienteilnahme erfolgte eine studienspezifische Aufklärung. Hierbei wurden die Patienten über das Ziel der Studie, den zeitlichen und technischen Ablauf der Nachuntersuchungen sowie über die Teilnahmefreiwilligkeit informiert. Besonders wurde herausgestellt, dass es sich bei der HR um eine weniger invasive Behandlungsalternative zur VKB-Plastik handelt. Außerdem wurde darauf hingewiesen, dass ein Erfolg der HR erst 6 Wochen nach der OP erkennbar wird und dass innerhalb der ersten 3–6 Monate eine erneute Instabilität als Ausdruck einer Re-Ruptur des Narbengewebes auftreten kann. Die Patienten wurden darüber aufgeklärt, dass bei einem Misserfolg eine Re-Operation mit VKB-Plastik erforderlich sein kann.

Im Zeitraum von Januar 2005 bis November 2008 konnten 57 nach der HR-Methode operierte Patienten in die Studie eingeschlossen werden. Die klinischen Untersuchungsergebnisse und Tests wurden auf Dokumentationsbögen (siehe Anhang) erfasst und in eine Excel-Datei übertragen. Die statistische Auswertung erfolgte mit der freundlichen Unterstützung von Herrn Dr. Gerrit Eichner vom Mathematischen Institut der Justus-Liebig-Universität Giessen.

2.2 Operative Technik

Die HR-Technik ist ein arthroskopisches Verfahren zur Re-Insertion der proximal abgerissenen VKB-Anteile in den anatomischen Insertionspunkt des distalen Femurs.

Die Arthroskopie wurde vom anterolateralen Standardzugang, 1 cm oberhalb des lateralen Kniegelenkspaltes und direkt neben dem Patellarsehnenrand durchgeführt. Der zweite anteromediale Zugang wurde 1 cm oberhalb des medialen Kniegelenkspaltes und in ca. 1 cm Entfernung von der Patellar-Sehne gelegt. Nach Spinalanästhesie oder Intubationsnarkose und Rückenlagerung des Patienten wurde das zu operierende Knie zusätzlich in Narkose untersucht (Lachmann-Test, Schublade-Test, KT-1000-Test). Danach folgte die Anlage einer Oberschenkelblutleere mit 350–420 Torr. Das zu operierende Bein wurde in 15° Hüftabduktion bei freier Kniebeweglichkeit mittels Oberschenkel-Beinhalter stabil gelagert, steril abgewaschen und abgedeckt. Die Entscheidung für eine HR-Methode bzw. eine VKB-Plastik wurde intraoperativ unter arthroskopischer Einsicht durch den Operateur gefällt.

Bei dem Entschluss, gemäß der HR-Methode vorzugehen, erfolgte eine arthroskopische Unterteilung des Schadens in drei Grade:

- **Grad 1:** intraligamentäre Elongation mit sub-synovialem Hämatom, Synovialschlauch nicht oder nur leicht beschädigt
- **Grad 2:** 1/3 bis 1/2 Rupturen mit gut reponierbarem Stumpf und gut abgrenzbarem Synovialschlauch
- **Grad 3:** 1/2 bis 3/4 Rupturen mit ventral aufgerissenen Synovialschlauch und Tendenz des Stumpfes nach ventral zu kippen (Luxation)

Vorgehen bei Grad 1–2-Schäden

Unter arthroskopischer Sicht wurde der proximale Stumpf mittels eines motorisierten Shavers angefrischt, ohne den Synovialschlauch zu entfernen. Häufig war ein knöchernes Impingement in der Notch erkennbar, bei dem es durch eine Knochenanomalie oder Hypertrophie zu einer Einengung der Notch mit Einklemmung des VKB kam. Mit einer Kugelfräse wurde die laterale Notch-Wand erweitert und die proximale Insertionszone des VKB dargestellt. Die abgerissenen Anteile des proximalen VKB wurden zur Seite geschoben und das anatomische Insertions-Areal mittels Mikrofraktur-Aale mehrfach perforiert, bis eine Nut entstand. Die erfolgreiche Eröffnung des Knochenmarks war anhand der auslaufenden Fett-Tropfen erkennbar. Die abgerissenen VKB-Fasern wurden in den perforierten Knochen reponiert und das Knie in Streckung gebracht. Zum Verklemmen der VKB-Fasern wurden ventral der Nut mit dem Stößel Löcher geschlagen. Durch dieses Vorgehen wurde eine Blutung erzeugt, durch die mesenchymale Stammzellen und Wachstumsfaktoren aus dem subkortikalen Knochenmark in das Reparaturgebiet eingeschwenkt wurden und sich ein Blutgerinnsel in der Notch bildete. Außerdem wurde durch die Nut in der femoralen Insertionszone ein mechanischer Halt für die proximal abgerissenen VKB-Fasern geschaffen. Das Knie wurde bis 60° -90° gebeugt, um sicherzustellen, dass die reponierten VKB-Anteile innerhalb dieses Bewegungsausmaßes nicht mehr dislozieren.

Vorgehen bei Grad 3-Schäden

Bei einer ventralen Kippung des Stumpfes (Schädigung Grad 3) und einer fehlenden stabilen Lokalisationsmöglichkeit nach Reposition wurde eine Anker-Refixation verwendet. Hierzu wurde ein resorbierbarer Nahtanker (Bio-Corkscrew Suture Anchor, Arthrex Inc., Naples FL-USA) aus Polymilchsäure (PLA) mit zwei Fäden in den Insertionspunkt eingedreht. Die Fäden wurden mittels einer arthroskopischen Scorpion® Nahtzange (Arthrex Inc., Naples FL-USA) als U-Nähte durch den Stumpf gestochen. Mittels Knotenschieber wurde der VKB-Stumpf in der Notch befestigt. Für die Arbeiten mit Nahtzange und Knotenschieber wurde eine durchsichtige Arthrex-Twist-In® Arbeitskanüle (6 mm) durch das Portal gelegt.

Ko-Läsionen

Zusätzliche Knie-Binnenschäden, die den Knorpel oder die Menisci betrafen, wurden begleitend therapiert. Knorpeldefekte wurden über eine arthroskopische Mikrofrakturierung behandelt. Frische Meniskusverletzungen wurden vorzugsweise genäht oder, falls eine Naht nicht möglich war, teilentfernt.

Anschließend wurde das Knie sorgfältig gespült, die arthroskopischen Geräte wurden entfernt und die Schnitte vernäht. Zum Schluss wurden ein steriler Verband, ein Kompressionsverband sowie eine dorsale Streckschiene angelegt.

Postoperativ erhielten die Patienten eine spezielle Rehabilitation mit dem Ziel den in der Notch (Einkerbung) liegenden Kreuzband-Stumpf zu entlasten. Die Rehabilitation sah eine Teilbelastung für 3 Wochen sowie eine Bewegungsreduktion und Bewegungsführung mit Ruhelagerung in Streckstellung vor.

Nachbehandlung

Im Folgenden sind die Bestandteile der Rehabilitation im postoperativen Verlauf aufgelistet:

- 3 Wochen Teilbelastung (10 kg) mit Unterarmgehstützen und Thromboseprophylaxe mittels niedermolekularem Heparin
- 1.–3. Tag: Lagerung in 10°-Beugung in dorsaler Gipsschiene
- ab 4. Tag: Rahmenstützorthese M4 ACL (medi GmbH, Bayreuth) 0–0–10° für 6 Wochen

- 4.–7. Tag: passive geführte Bewegung 0–60° für 3–4 Tage
- 8.–14. Tag: passive geführte Bewegung 0–90° für 3–4 Tage
- danach aktive freie Bewegung bis 90°
- 6.–18. Woche: Muskelaufbau mittels Hometrainer
- Hilfsmittelverordnung für 4 Wochen: Elektromuskelstimulation (EMS) mittels Muskelstimulationsgerät

Eine Rückkehr zur regulären sportlichen Vollbelastung wurde den Patienten nach 3–6 Monaten erlaubt. Alle Patienten wurden zur Beurteilung des Heilungsprozesses und zur Früherkennung von postoperativen Problemen zu Nachuntersuchungen in die Ambulanz einbestellt. Nachuntersuchungen waren für die Zeitpunkte 3, 6, 12, 24, 52, und 104 Wochen postoperativ vorgesehen.

2.3 Nachuntersuchungen

Die studienrelevanten Nachuntersuchungen zur Bewertung des Heilungsverlaufs und der Ergebnisse der HR-Technik fanden nach 6, 12 und 24 Monaten statt. Die Patienten erhielten einen Fragebogen mit Angaben zur Person, zum Unfallhergang, zur Lokalisation, zu eventuellen Begleitverletzungen und zur Art der OP. Ferner wurden die Patienten gebeten, den Schmerz, die Belastbarkeit und die subjektive „Wertigkeit“ des betroffenen Knies zu beurteilen. Diese Angaben bildeten die Basis für die daraus folgende Ermittlung in die Aktivitätsskalen nach Tegner (TAS) und Lysholm-Gillquist.

Klinisch-technische Nachuntersuchungen

Bei der anschließenden klinischen Untersuchung wurde die Kniefunktion, die Schwellung, der Erguss und die Stabilität beurteilt und der International Cartilage Regeneration & Joint Preservation Society (ICRS) Score berechnet. Anschließend wurde eine Messung mit dem KT-1000-Arthrometer durchgeführt. Alle Untersuchungsbefunde wurden durch den Oberarzt PD Dr. med. E. Basad geprüft.

Bei der klinischen Untersuchung wurden zunächst beide Knie betrachtet und auf äußerliche Auffälligkeiten wie Hämatome und Rötungen (Anzeichen einer Entzündung oder Infektion) untersucht. Anschließend erfolgte die manuelle Untersuchung zunächst

des gesunden und anschließend des operierten Gelenks. Dabei wurde standardmäßig das Bewegungsausmaß nach der Neutral-Null-Methode erfasst und ein Lachmann-Test, bei dem das zu untersuchende Bein in 5–15° Flexion mit einer Hand gehalten und die Tibia mit der anderen Hand ruckartig nach ventral gezogen wird, durchgeführt. Über einen Vergleich mit der Gegenseite wurde eine verlängerte Translation oder stärkere Laxizität (= Bandanschlag) erfasst, die Rückschlüsse auf eine VKB-Pathologie zuließen. Weiter wurde ein Pivot-Shift-Test durchgeführt. Hierbei liegt der Patient auf dem Rücken und der Untersucher umgreift mit einer Hand den Kalkaneus des Patienten. Mit der anderen Hand wird der Unterschenkel von unten umgriffen, so dass der Daumen auf dem Fibula-Köpfchen zum Liegen kommt. Nun wird das gestreckte Bein bis zur Hüftbeugung von 20° angehoben und der Unterschenkel mit der den Kalkaneus umfassenden Hand nach innen rotiert. Zeitgleich übt diese Hand auch einen Druck nach kranial aus. Die Hand an der Fibula verursacht einen Valgusstress auf das Kniegelenk (somit wird das VKB in maximale Streckung gebracht) und das Bein wird im Kniegelenk gebeugt. Zu Beginn der Kniebeugung subluxiert die Tibia nach ventral. Ab einer Flexion von 20–40° erfolgt die Spontanreposition der Tibia in ihre ursprüngliche Ausgangslage. Ursächlich hierfür ist der Zug des Tractus iliotibialis, der die Tibia ab einer Beugung von 20° nach dorsal zieht. Bei einer solchen Spontanreposition gilt der Pivot-Shift-Test als positiv und eine Schädigung des VKB liegt vor.

Zur Objektivierung der zuvor subjektiv erfassten Translation/Seitenbanddifferenz wurden beidseitige Messungen mit einem Arthrometer durchgeführt. Dazu wurde die Oberschenkelplatte so positioniert, dass sich beide Knie des Patienten in 20–30° Flexionsstellung befanden. Anschließend wurde die Fußplatte so angebracht, dass die Füße 15° entfernt von der Körpermittellinie in Außenrotationsstellung standen. Danach wurde das Arthrometer über die beiden Klettbänder an der zu untersuchenden Extremität so befestigt, dass der Griff 10 cm unterhalb des Kniegelenkspaltes lag. Nach der Anpassung des Patella-Sensors auf die Patella des Patienten erfolgte die „Eichung“ des Arthrometers. Dazu übte der Untersucher Druck in Richtung des Bodens auf den Griff des Arthrometers aus, bis keine Nadelabweichungen/Nadelschwankungen auf der Anzeige mehr zu sehen waren. Die Applikation der rückwärtigen Kraft erfolgte bis zur Abgabe eines Signaltons durch das Arthrometer (bei 89 Newton). Bei der durch die Nadel angezeigte Position wurde die Anzeige auf „0“ gestellt. Danach wurde wieder Druck in Richtung Boden ausgeübt, bis erneut ein Signalton ertönte. Das Messergebnis (in mm) wurde an der Anzeige abgelesen. Dieser Messschritt wurde viermal wiederholt. Der höchste Messwert wurde unter der Annahme, dass es sich um einen Messfehler handelt, nicht in die Berechnung des Durchschnittswertes der verbliebenen drei Messergebnisse einbezogen.

Die nachfolgenden Abbildungen 4 und 5 zeigen das verwendete Arthrometer und den schematischen Messablauf.



Abb. 4: KT-1000-Arthrometer [Hanten und Pace 1987]

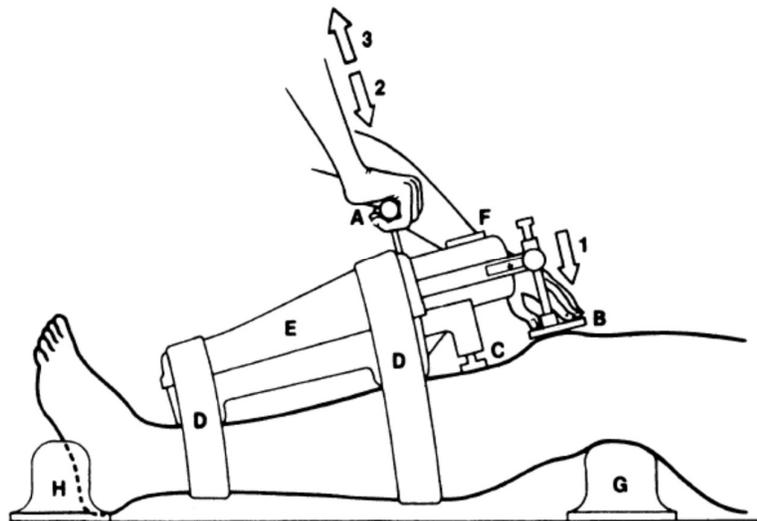


Abb. 5: Schematische Darstellung der Messung mittels Arthrometer [verändert nach Hanten und Pace 1987].

A = Griff, B = Patella-Sensor, C = Tibia-Sensor, D = Befestigungsstreifen, E = Arthrometer-Körper, F = Verschiebungsindikator, G= Oberschenkelplatte, H = Fußplatte; 1 = leichter Druck zur Positionierung des Patella-Sensors in Position zu halten, 2 = Kraft in Richtung Boden, 3 = rückwärtige Kraft

Vor der Untersuchung wurde eine indirekte MRT-Arthrographie im Zentrum für diagnostische Radiologie der Universitätsklinik Giessen angefertigt. Hierbei wurde das Knie in Beugstellung unter Einsatz des Gyroscan Intera 1,5 Tesla (Philips Medical Systems GmbH, Hamburg) untersucht. 20 Minuten vor Beginn der MRT-Untersuchung erhielt der Patient ein paramagnetisches Kontrastmittel (Gadolinium, 0,2 ml/kg Körpergewicht, Magnevist®, Schering Deutschland GmbH, Berlin) über einen intravenösen Zugang. Folgende Sequenzen wurden bei der Untersuchung erhoben:

- T1-Gewichtung, Turbo-Spin-Echo (TSE) mit Fettsuppression, sagittal und koronar, Repetitionszeit (TR) 400 ms, Echozeit (TE) 15 ms, Schichtdicke 3 mm
- T1-Gewichtung, TSE sagittal und transversal, TR 455 ms, TE 15 ms, Schichtdicke 3 mm
- Protonendichte-Gewichtung (PD), Spectral Presaturation with Inversion Recovery (SPIR) sagittal, TR 2000 ms, TE 27 ms, Schichtdicke 3,2 mm
- Doppel-Echo-Sequenz mit koronarer Fettsuppression TR 2666 ms, TE 12/80 ms, Schichtdicke 3 mm

Fragebögen

Kriterien zur Beurteilung des Therapieerfolges waren die Bandstabilität, das Aktivitätsniveau, die subjektive Zufriedenheit, die Funktionalität sowie die Bandkontinuität. Im Folgenden werden die Methoden zur Beurteilung dieser Kriterien und die Funktionstests beschrieben. Fragebögen siehe Anhang.

Bandstabilität (Lachman-Test, vordere Schublade, KT-1000-Arthrometer): Der Lachman-Test gehört zu den wichtigsten Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Gelenkstabilität nach einer Kreuzband-OP. Eine weitere Methode ist die „vordere Schublade“. Beide Techniken beurteilen die Verschiebbarkeit des Unterschenkels gegen den Oberschenkel in verschiedenen Kniegelenkpositionen (Lachman-Test bei 20° und vordere Schublade bei 90°). Beide Verfahren sind wesentlich für die Stabilitätsbeurteilung [Torg et al. 1976]. Neben diesen beiden Methoden wurde in der vorliegenden Studie zusätzlich eine Stabilitätsmessung in der anterior-posterior Ebene mit einem KT-1000-Arthrometer (MedMetric, San Diego, CA, USA) vorgenommen (s. Abb. 7 und 8). Im Unterschied zu den manuellen Tests bietet diese Messung bei definierter eingesetzter Kraft eine kontinuierliche Ergebnisskala. Bei einer eingesetzten Kraft von 89 N und einer Maximalkraft von 134 N galt als Grenzwert für ein stabiles Kreuzband eine Seitendifferenz von 3 mm [Rangger et al. 1993].

Aktivitätsniveau (TAS): Der 1985 erstmals beschriebene Tegner Activity Score zeigt das Aktivitätsausmaß eines Patienten auf einer Skala von 0–10 an. Hierbei gilt:

- 0 = absolute Inaktivität aufgrund der Knieprobleme
- 1–5 = Arbeit und leichte Freizeitsportaktivitäten möglich
- 6–9 = anspruchsvollere Freizeitsportarten und Wettkämpfe
- 10 = Teilnahme an nationalem oder internationalem Fußballsport möglich

[Briggs et al. 2006]

Dieser international weit verbreitete und validierte Score **[Briggs et al. 2009]** wurde verwendet, da er die Möglichkeit bot, das aktuelle Aktivitätsausmaß mit dem präoperativen Zustand zu vergleichen ("besser, schlechter, gleichbleibend"). Der TAS sollte zusammen mit dem Lysholm-Score verwendet werden **[Wright 2009]**.

Subjektive Zufriedenheit (Lysholm-Score): Der Lysholm-Score gehört zu den in der Literatur am häufigsten verwendeten Scores zur Beurteilung des Kniegelenks. Der Score erlaubt eine frühe subjektive Beurteilung der Kniefunktion **[Wright 2009]**. Bei dem aus acht Items bestehenden Score können Gesamtpunktzahlen von 0–100 Punkten erreicht werden. Dabei gilt:

- 100–95 Punkte = exzellentes Ergebnis,
- 94–84 Punkte = gutes Ergebnis
- 83–65 Punkte = ausreichendes Ergebnis
- < 65 Punkte = ungenügendes Ergebnis

Dieser international etablierte und empfohlene Score **[Briggs et al. 2009]** gibt Auskunft über den Heilungsverlauf **[Marx et al. 2001]**.

Funktionalität (Cartilage Standard Evaluation): Zur Beurteilung der Funktionalität wurde die mit dem International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form (IKDC) Score vergleichbare Cartilage Standard Evaluation verwendet, die aus einem Patienten- und einem Arztformblatt besteht.

Der den Patienten betreffende Teil enthält Fragen zur Funktionalität des betroffenen Kniegelenks im Vergleich zur Gegenseite im zeitlichen Verlauf (vor dem traumatischen Ereignis, direkt nach dem Ereignis, zum Zeitpunkt der aktuellen Kontrolle) und zum Schmerzempfinden.

Im Arztformblatt werden folgende Parameter über Fragegruppen untersucht:

1. Kniefunktion (subjektive Einschätzung des Patienten)
2. Schmerzempfinden des Patienten
3. Symptome bei Aktivität
4. Bewegungsdefizit
5. Banduntersuchung
6. Kompartiment-spezifische Befunde
7. Transplantat-Entnahmemorbidität
8. „One leg hop“ Test

Jede dieser Fragegruppen besteht aus einem oder mehreren Items, die mit "normal", "fast normal", "abnorm", "stark abnorm" bewertet werden. Die jeweils schlechteste Bewertung eines Items entspricht dem Gesamtergebnis einer Fragegruppe. Das schlechteste Ergebnis aller Fragegruppen ergibt das übergeordnete Gesamtergebnis. Durch dieses Vorgehen werden negative Ergebnisse nicht kaschiert. In additiven, numerischen Scores besteht dagegen die Möglichkeit, dass positiv bewertete Parameter ein weiterhin bestehendes Problem kompensieren [Irrgang et al. 1998, Wright 2009]. Für die Bewertung wurden in der vorliegenden Untersuchung nur die Fragegruppen 1–5 verwendet, da keine Entnahme von autologem Sehnenmaterial stattfand und somit die restlichen Untersuchungen entfielen.

VKB-Kontinuität (MRT): Die Kontinuität des VKB wurde anhand radiologischer Untersuchungen (MRT) im Zentrum für diagnostische Radiologie der Universitätsklinik Giessen beurteilt. Hierbei wurde zwischen vollständig, partiell, unvollständig unterschieden.

2.4 Statistische Methoden

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Beurteilung der Veränderung der Kriterien Aktivitätsniveau, subjektive Zufriedenheit, Bandstabilität und Funktionalität im zeitlichen Verlauf ausgehend vom präoperativen Zustand bis zu 6, 12 und 24 Monaten nach dem Eingriff. Zum Vergleich der Daten im Zeitverlauf wurde ein nicht-parametrisches Rangverfahren verwendet [Brunner und Langer 1999, 2000]. In die statistische Berechnung wurden alle verfügbaren Einzelwerte und nicht nur die Daten aus vollständigen Sätzen einbezogen. Voraussetzung für dieses Vorgehen ist laut BRUNNER & LANGER [1999, 2000], dass die fehlenden Werte (missing values) zufällig

fehlen (missing completely at random). Dabei unterbleibt eine Verzerrung der Ergebnisse, da das Fehlen der Werte nicht von diesen selber abhängt (weil sie z. B. zu „gut“ oder zu „schlecht“ sind).

Für alle Berechnungen und die grafische Darstellung der Individualverläufe sowie der Kriterienwerte wurde die „open-source“ Software R in der Version 2.12.1 verwendet **[Development Core Team R, o. J.]**. Dabei handelt es sich um eine Programmiersprache und Umgebung für statistische Berechnungen und Grafiken, einschließlich der Pakete Lattice, Matrix und MASS **[Venables und Ripley 2002, Sarkar 2008, Bates und Maechler 2010]**. Als statistisch signifikant wurden p-Werte aufgefasst, die das Signifikanzniveau $\alpha = 5\%$ unterschritten. Die statistischen Berechnungen und Bewertungen erfolgten mit freundlicher Unterstützung durch Hr. Dr. Gerrit Eichner am Mathematischen Institut der Justus-Liebig-Universität Giessen.

3 Ergebnisse

3.1 Demografische Daten

Ausgangskollektiv

Insgesamt wurden 57 Patienten – darunter 42 Männer und 15 Frauen – in die Studie eingeschlossen. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 31,4 Jahren (Median: 30,9 Jahre). 28 Patienten gehörten der Altersgruppe ≤ 29 Jahre an, 7 Patienten der Gruppe 30–34 Jahre, 6 Patienten der Gruppe 35–39 Jahre und 16 Patienten der Gruppe > 40 Jahre (s. Abb. 6). 28 Partialrupturen betrafen das rechte und 29 das linke Kreuzband. Der BMI der Patienten betrug durchschnittlich $24,9 \text{ kg/m}^2$. 41 Patienten wurden ausschließlich mit der HR-Methode therapiert. Bei 13 Patienten wurde zusätzlich ein Knochen-Anker eingebracht. Bei 3 Patienten wurde ein anderes Verfahren angewandt; diese Patienten gingen nicht in die weitere Datenauswertung ein.

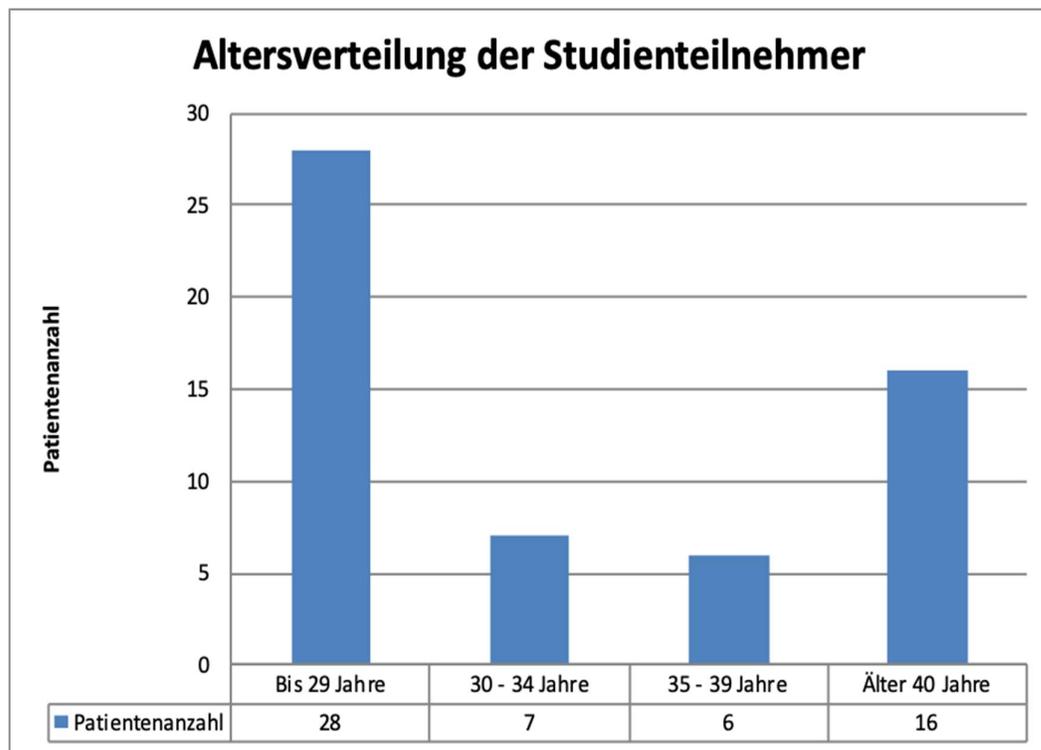


Abb. 6: Altersverteilung des Ausgangskollektivs

Die Hauptursache für die VKB-Partialrupturen waren Verletzungen beim Fußball ($n = 25$). Weitere Ursachen waren Verletzungen beim Alpin-Ski ($n = 14$), beim Handball ($n = 4$), beim Basketball ($n = 2$) und bei Sprüngen aus unterschiedlicher Höhe ($n = 2$).

Jeweils ein Patient hatte sich beim Kampfsport, Volleyball, Tennis, Trampolinsprung, Sturz aus großer Höhe und bei einem Arbeitsunfall verletzt. 4 Patienten konnten sich an kein Auslöseereignis erinnern. Im Median vergingen zwischen dem Auslöseereignis (Trauma) und der OP 25,5 Tage. Zu den 6-Monats-Nachuntersuchungen erschienen 49 Patienten und zu den 12- bzw. 24-Monatsuntersuchungen 37 bzw. 20 Patienten. Aufgrund subjektiver Einschränkungen (z. B. mangelnde Bereitschaft zur Untersuchung, Angst, Zeitmangel) konnte nicht bei allen Patienten eine MRT-Untersuchung durchgeführt werden.

„Efficacy-Population“ (Wirksamkeitspopulation)

Zur Wirksamkeitspopulation wurden alle Patienten gezählt, die bei mindestens einer Folgeuntersuchung (6, 12 oder 24 Monate post-OP) einen Mess- oder Beobachtungswert lieferten. Dies traf auf 50 Personen, darunter 36 Männer und 14 Frauen, zu. Das durchschnittliche Alter betrug 32,2 Jahre (Median 32,7 Jahre). Der BMI lag bei durchschnittlich 25,14 kg/m² (Median 24,4 kg/m²). Zwischen Trauma und OP vergingen im Median 26 Tage. Das linke und rechte VKB waren gleich häufig betroffen (jeweils n = 25). Bei allen Patienten wurde nach der HR-Methode vorgegangen. 11 Patienten erhielten zusätzlich zur besseren VKB-Fixierung eine Bio-Corkscrew (s. Kap. 2.2). Die Traumata (s. Abb. 7) waren beim Fußball (n = 23), Alpin-Ski (n = 14), Handball (n = 4), Basketball (n = 2), Sturz aus großer / kleiner Höhe (jeweils n = 1) und aufgrund sonstiger Ursachen (Arbeitsunfall, Trampolinspringen, Kampfsport jeweils n = 1) entstanden.

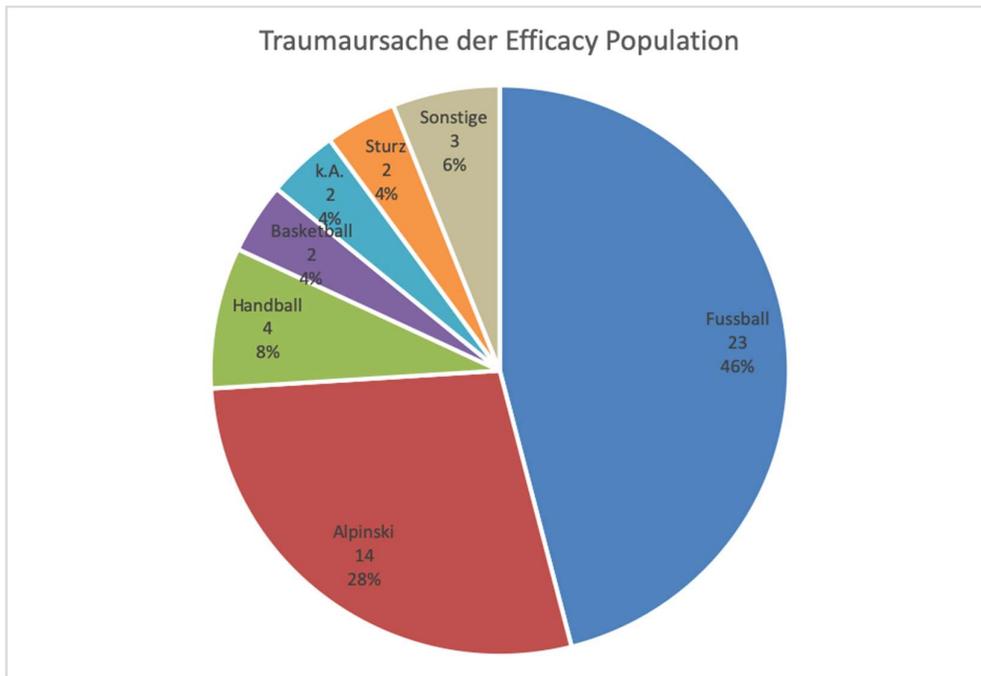


Abb. 7: Trauma-Ursachen der Efficacy-Population

3.2 Subjektive Kniefunktion

Vor dem Trauma bewerteten 96 % (n = 48) der Patienten der Efficacy-Population ihre Kniefunktion als „normal“ und 2 % (n = 1) als „fast normal“. Ein weiterer Patient (2 %) konnte hierzu keine Aussage treffen (s. Abb. 8).

Direkt präoperativ beurteilten 16 % (n = 8) der Patienten ihre Kniefunktion als „fast normal“. 40 % (n = 20) beschrieben die Kniefunktion mit „eingeschränkt“ und 42 % (n = 21) mit „stark eingeschränkt“. Ein Patient (2 %) konnten keine Aussage treffen.

Nach 6 Monaten bewerteten 16 Patienten ihre Kniefunktion als „normal“, 27 Patienten als „fast normal“ und 5 Patienten als „eingeschränkt“. Kein Patient empfand seine Kniefunktion als „stark eingeschränkt“. Die mediane Bewertung lag somit bei „fast normal“.

Nach 12 Monaten beurteilten 23 Patienten ihre Kniefunktion als „normal“, 12 Patienten als „fast normal“ und 2 Patienten als „eingeschränkt“. Die mediane Bewertung lag somit bei „normal“.

Nach 24 Monate gaben 11 Patienten ihre Kniefunktion als „normal“, 5 Patienten als „fast normal“ und 2 Patienten mit „eingeschränkt“ an. Die mediane Bewertung entsprach auch hier einer normalen Kniefunktion.

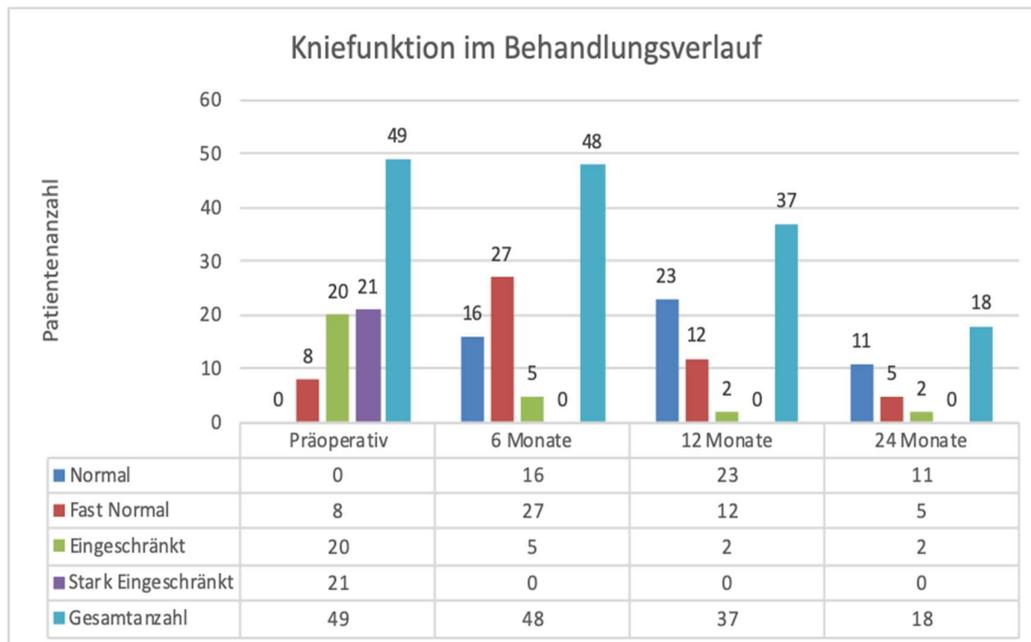


Abb. 8: Subjektive Bewertung der Kniefunktion im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Bei der Betrachtung der individuellen Verläufe (s. Abb. 9) werden die innerhalb der ersten 12 Monate auftretenden deutlichen Veränderungen sichtbar. Die Funktionalität verbesserte sich bei der Mehrzahl der Patienten. Im Zeitraum zwischen 12 und 24 Monate kam es zu keiner erkennbaren Veränderung der Funktionalität.

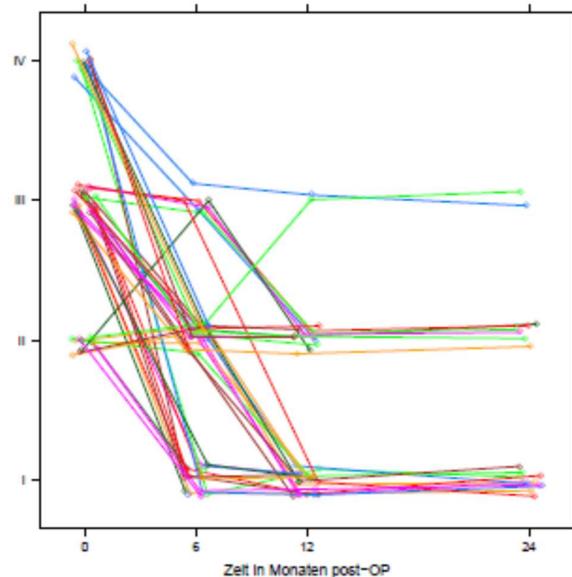


Abb. 9: Individualverläufe der Kniefunktion vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

I = „normale Kniefunktion“, II = „fast normale Kniefunktion“, III = „eingeschränkte Kniefunktion“, IV = „stark eingeschränkte Kniefunktion“

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung der Kniefunktion erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.3 Schmerzempfinden

Das Schmerzempfinden der Patienten am operierten Knie wird in Abb. 10 dargestellt. Präoperativ bewerteten 21 Patienten ihre Schmerzen als „normal“, 12 Patienten als „fast normal“, 6 Patienten als „abnorm“, 4 Patienten als „stark abnorm“. Die mediane Bewertung lag somit bei „fast normal“.

6 Monate nach dem Eingriff beurteilten 27 Patienten ihre Schmerzen als „normal“, 4 Patienten als „fast normal“ und 2 Patienten als „abnorm“. Der Median der angegebenen Schmerzen verschob sich somit in den „normalem“ Bereich.

Nach 12 Monaten hielten 19 Patienten ihre Schmerzen für „normal“, 5 Patienten für „fast normal“ und 2 Patienten für „abnorm“. Der Median lag weiterhin im „normalen“ Bereich.

Nach 24 Monaten gaben 9 Patienten ihre Schmerzen als „normal“ und jeweils 2 Patienten als „fast normal“ bzw. „abnorm“. Der Schmerz wurde weiterhin im Median mit „normal“ bewertet.

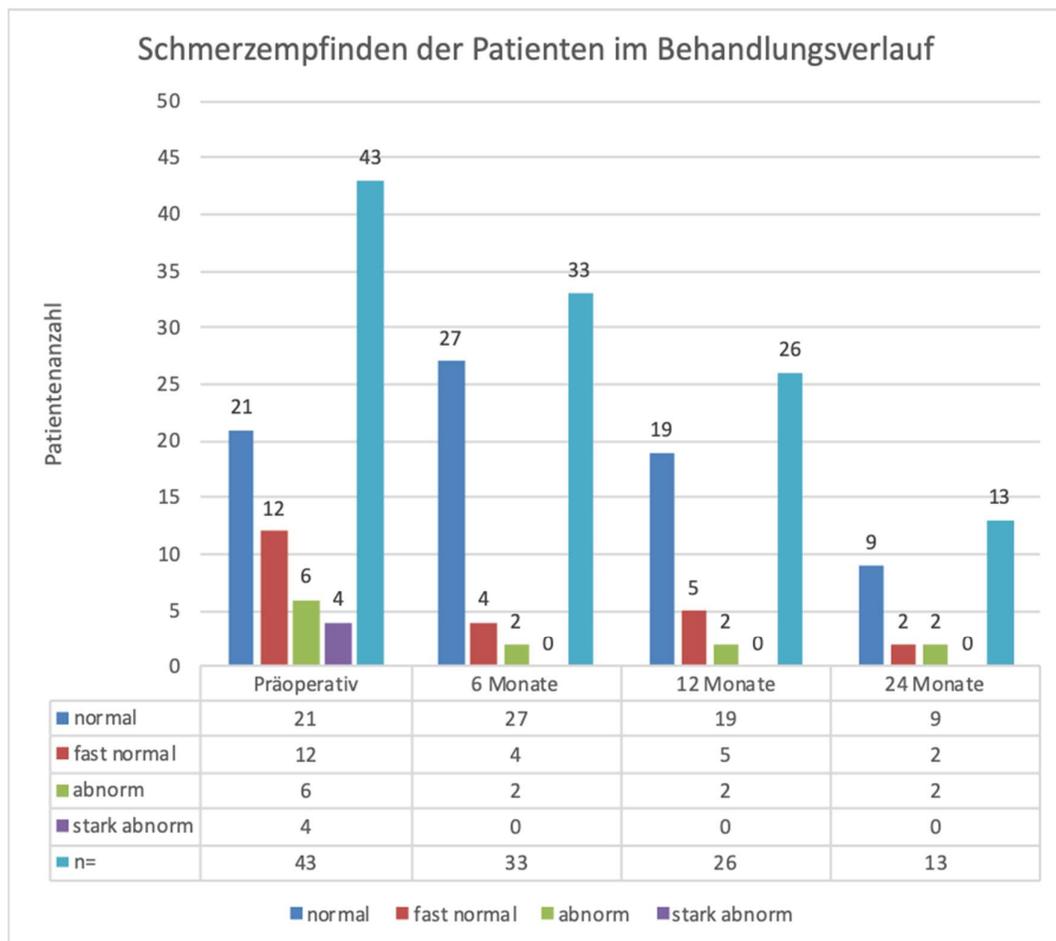


Abb. 10: Schmerzempfinden der Patienten im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Bei Betrachtung der individuellen Verläufe lässt sich erkennen, dass die größten Veränderungen zwischen dem präoperativen Messzeitpunkt und 12 Monate nach der OP stattfanden (s. Abb. 11). Vereinzelt kam es in diesem Zeitraum auch zu einem Anstieg der Schmerzen von „normal“ (= I) zu „fast normal“ (= II) oder „abnorm“ (= III).

Im Zeitraum zwischen 12 und 24 Monaten blieben die erlebten Schmerzen bei allen Patienten stabil.

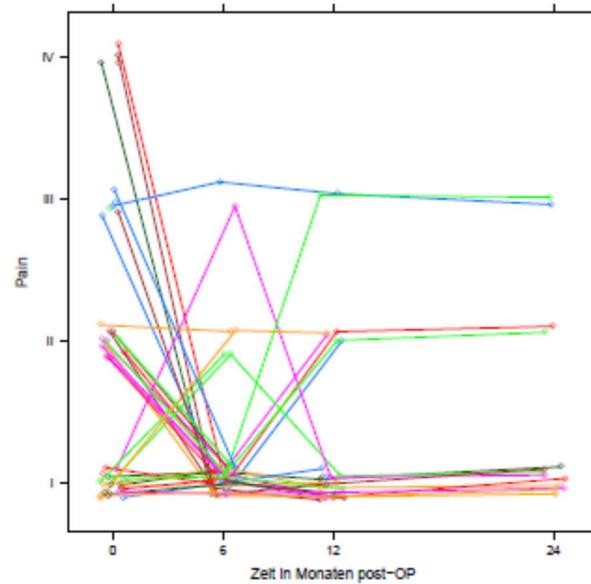


Abb. 11.: Individualverläufe des Schmerzempfindens vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

I = „normal“, II = „fast normal“, III = „abnorm“, IV = „stark abnorm“

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung des Schmerzempfindens erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.4 Begleitsymptome bei Aktivität

Die Patienten wurden im Rahmen der Studie auch befragt, ob es bei der Ausübung von Alltags- und ggf. Sportaktivitäten zu Begleitsymptomen (Schmerzen, Schwellungen, gefühlte Instabilität, Anlaufschmerzen) im operierten Kniegelenk kommt. Diese Parameter wurden unter dem Oberbegriff „Begleitsymptome“ zusammengefasst (s. Abb. 12).

Präoperativ bewertete nur ein Patient seine Begleitsymptome als „normal“. 5 Patienten beurteilten diese als „fast normal“, 19 Patienten als „abnorm“ und 20 Patienten als „stark abnorm“. Der mediane Wert für diesen Zeitpunkt lag bei „abnorm“.

Nach 6 Monaten schätzten 19 Patienten ihre Symptome als „normal“, 19 Patienten als „fast normal“, 8 Patienten als „abnorm“ und 2 Patienten als „stark abnorm“ ein. Der Median lag nun bei „fast normal“.

12 Monate nach dem Eingriff bewerteten 18 Patienten ihre Symptome als „normal“, 17 Patienten als „fast normal“ und 2 Patienten als „abnorm“. Der Median verblieb bei „fast normal“.

Nach 24 Monaten gaben 8 Patienten ihre Symptome als „normal“, 8 Patienten als „fast normal“ und 2 Patienten als „abnorm“ an.

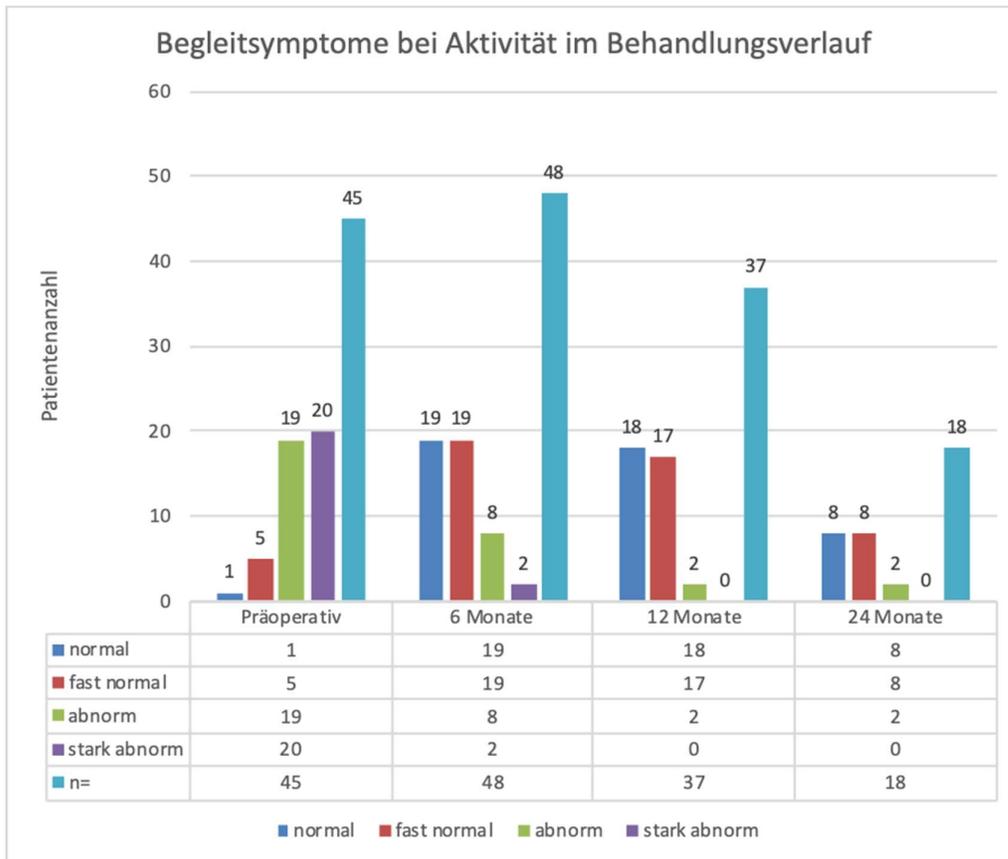


Abb. 12: Begleitsymptome bei Aktivität der Patienten im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Die individuellen Verläufe der Entwicklung der Begleitsymptome ähneln den zuvor beschriebenen Verläufen bezüglich der Kniefunktion und des Schmerzempfindens (vgl. Abb. 13). Zwischen dem präoperativen Zustand und dem Zustand 12 Monate nach der OP waren deutliche Veränderungen erkennbar. Anschließend blieben die Verläufe stabil.

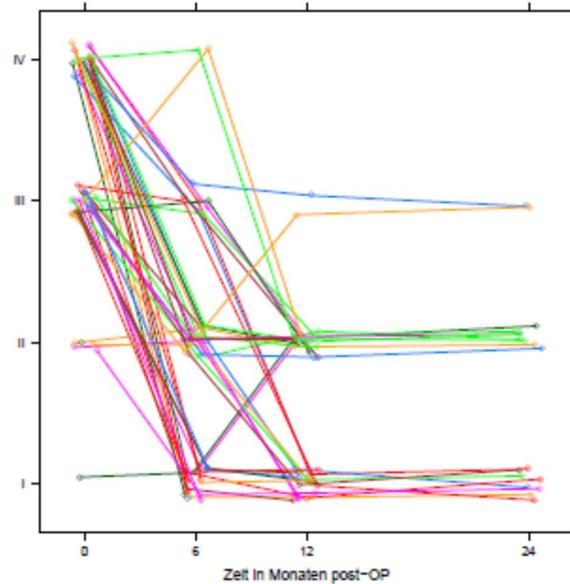


Abb. 13: Individualverläufe der Begleitsymptome vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

I = „normal“, II = „fast normal“, III = „abnorm“, IV = „stark abnorm“

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung der Begleitsymptome erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.5 Bewegungsausmaß

Zu den Zeitpunkten prä-OP, 6, 12, und 24 Monate post-OP wurde zusätzlich das Bewegungsausmaß an der operierten Extremität im Vergleich zur Gegenseite analysiert (s. Abb. 14).

Präoperativ betrug das Extensions-Flexions-Defizit (EF-Defizit) bei 14 Patienten 0–5°, bei 5 Patienten 6–15°, bei 3 Patienten 16–25° und bei 23 Patienten > 25°. Das mediane EF-Defizit lag damit bei > 25°.

6 Monate postoperativ hatten 39 Patienten ein EF-Defizit von 0–5°, 3 Patienten von 6–15°, 3 Patienten von 16–25° und 2 Patienten von > 25°. Das mediane EF-Defizit war somit auf 0–5° gesunken.

12 Monate nach der OP betrug das EF-Defizit bei 32 Patienten 0–5°, bei 2 Patienten 6–15° und jeweils bei einem Patienten 16–25° und > 25°. Der Median blieb konstant bei 0–5°.

24 Monate nach dem Eingriff lag das EF-Defizit bei 15 Patienten bei 0–5°, bei 2 Patienten bei 6–15° und bei einem Patienten bei 16–25°. Das mediane EF-Defizit betrug erneut 0–5°.

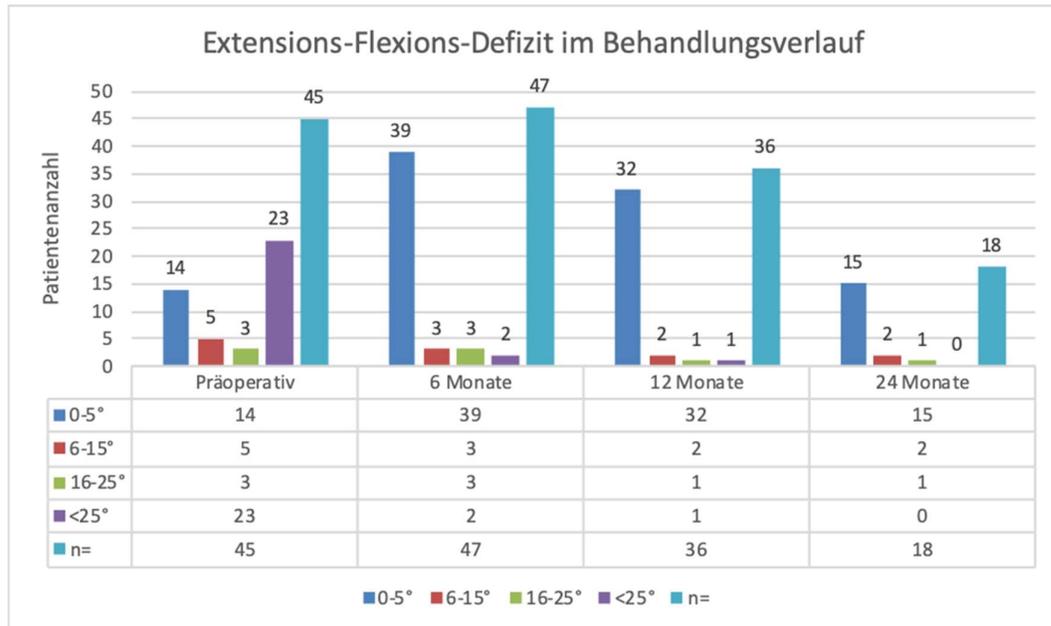


Abb. 14: Extensions-Flexions-Defizit im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Die individuellen Verläufe zeigen, dass nahezu alle Veränderungen im Zeitraum bis zu 12 Monate nach der OP auftraten. Danach stabilisierten sich die Ergebnisse. Mit Ausnahme von zwei Patienten verbesserte sich das EF-Defizit in allen Fällen (s. Abb. 15).

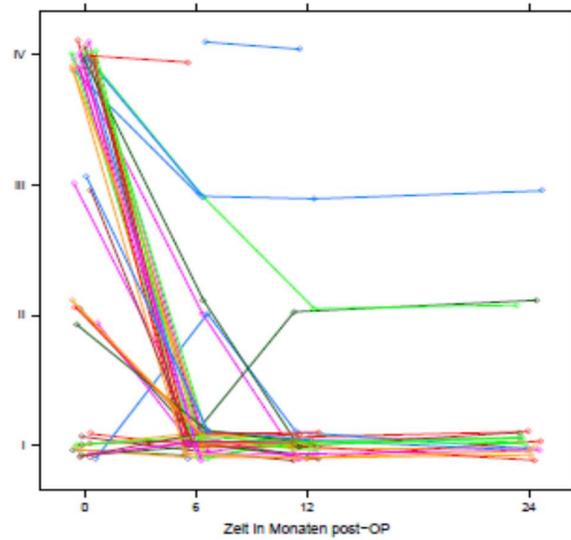


Abb. 15: Individualverläufe des Extensions-Flexions-Defizit vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

I = 0–5°, II = 6–15°, III = 16–25° und IV = < 25°

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung des Extensions-Flexions-Defizits erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.6 Subjektive Zufriedenheit (Lysholm-Gillquist-Score)

Der mediane Lysholm-Gillquist-Score lag präoperativ bei 40 von 100 möglichen Punkten. 6 Monate nach der OP betrug er 93,5 Punkte (n = 46). In der Folge blieb er weitgehend stabil (12 Monate = 95 Punkte (n = 37), 24 Monate = 96 Punkte (n = 19; vgl. Abb. 16).

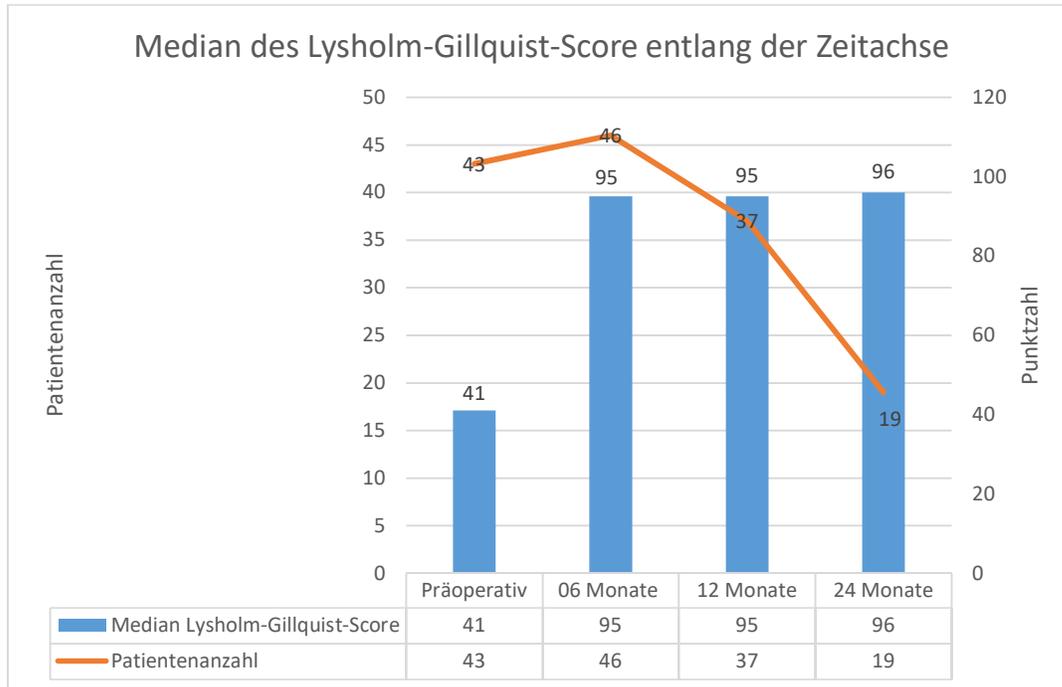


Abb. 16: Lysholm-Gillquist-Score (Median) im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Abbildung 17 stellt den prozentualen Zuwachs des Lysholm-Gillquist-Scores zu den verschiedenen postoperativen Messzeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status dar. Der mediane prozentuale Zuwachs betrug nach 6 Monaten 117 %, nach 12 Monaten 123 % und nach 24 Monaten 130 %.

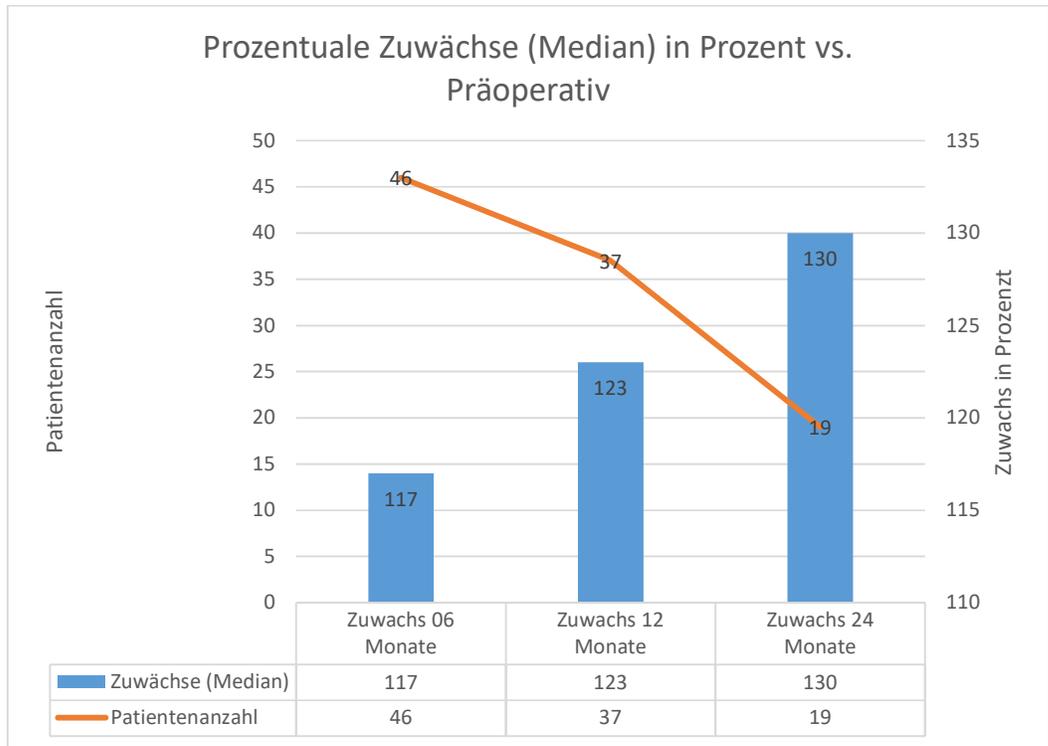


Abb. 17: Prozentualer Zuwachs der medianen Lysholm-Gillquist-Scores zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status

Bei Betrachtung der individuellen Verläufe (vgl. Abb. 18) zeigt sich erneut, dass der Großteil der Veränderungen innerhalb der ersten 12 Monate nach der Behandlung stattfand. In den folgenden 12 Monaten kam es lediglich in 2 von 19 Fällen zu einer weiteren Verbesserung des Ergebnisses.

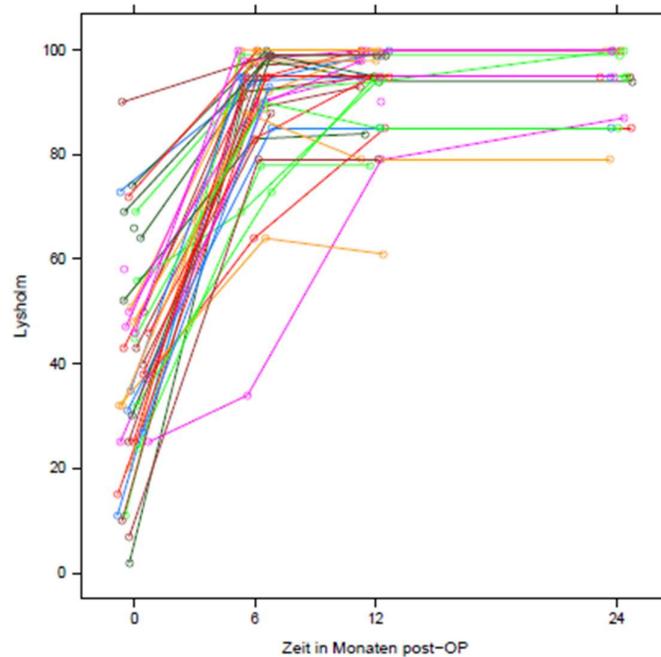


Abb. 18: Individualverläufe des Lysholm-Gillquist-Scores vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung des Lysholm-Gillquist-Scores erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.7 Funktionalität des Kniegelenks –Tegner-Aktivitäts-Score (TAS)

Direkt präoperativ lag der mediane TAS der Patienten bei 2 von 10 möglichen Punkten (s. Abb. 19). 6 Monate postoperativ war der mediane TAS auf 5 Punkte (n = 48) angestiegen. 12 Monate und 24 Monate nach der OP lag er bei 6 Punkten (n = 47 bzw. n = 18).

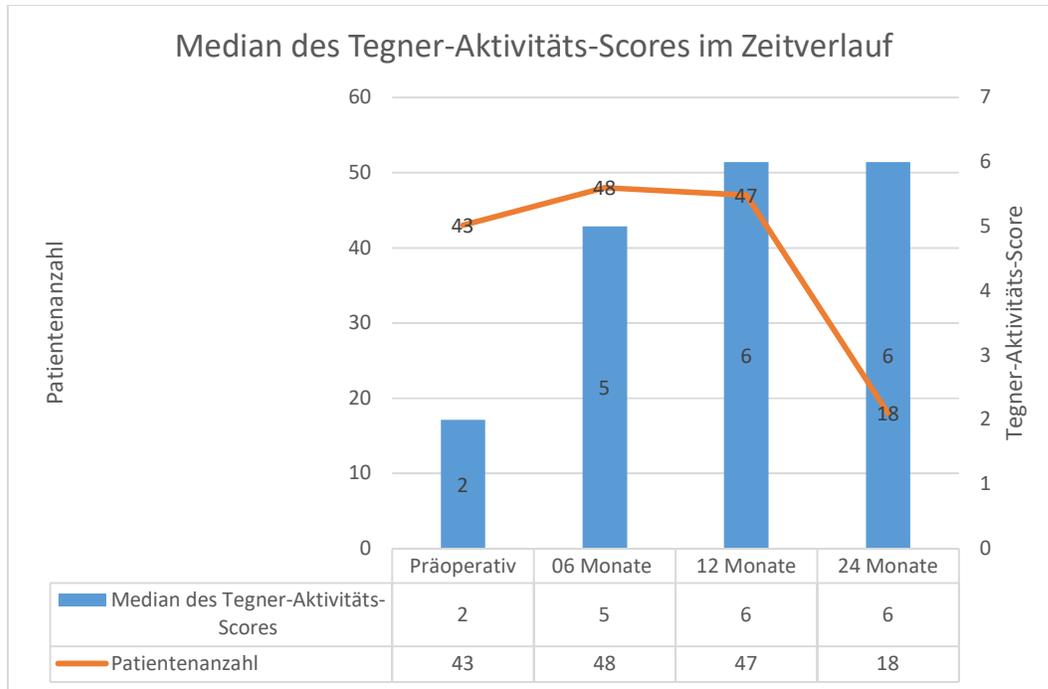


Abb. 19: Tegner-Aktivitäts-Score (Median) im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Bei der Betrachtung der individuellen Veränderungen des TAS (s. Abb. 20) zeigt sich, dass der Großteil der Veränderungen innerhalb der ersten 12 Monate nach dem Eingriff erfolgte. Im weiteren Verlauf bis 24 Monate erzielten nur drei Patienten eine weitere Verbesserung.

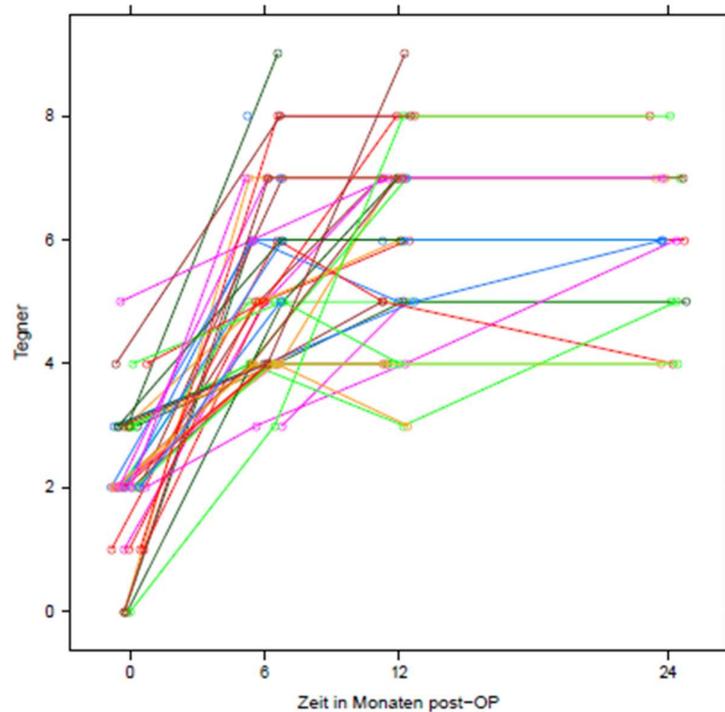


Abb. 20: Individualverläufe des Tegner-Aktivitäts-Scores vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung des Tegner-Aktivitäts-Scores erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

Der mediane Zuwachs des TAS im Vergleich zum präoperativen Status betrug 6 Monate postoperativ 100 % und 12 Monate bzw. 24 Monate postoperativ jeweils 142 % (s. Abb. 21).

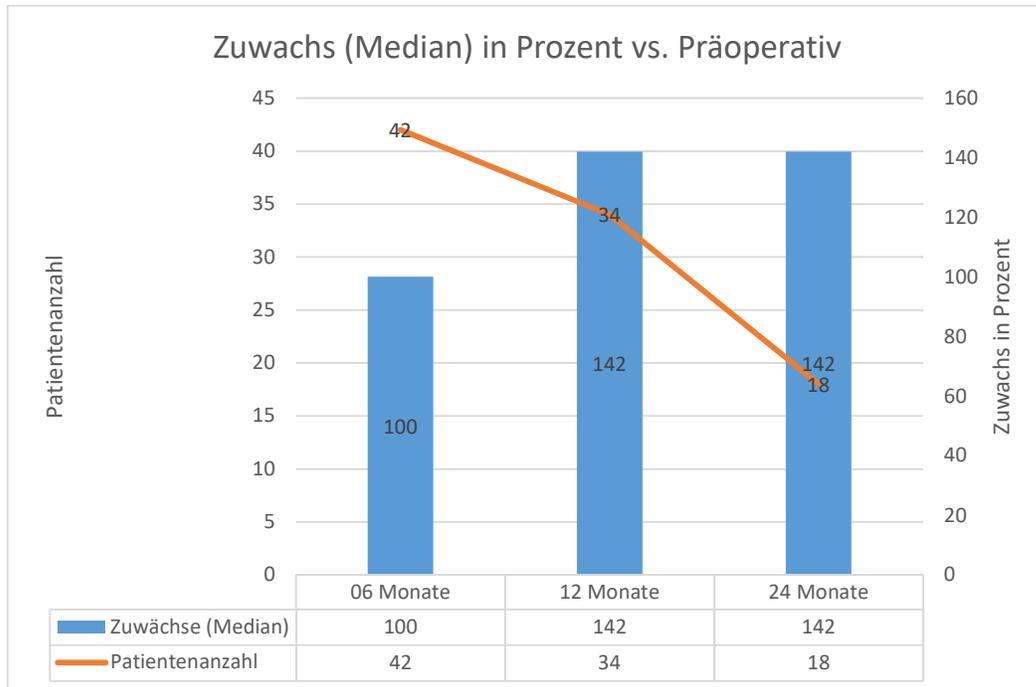


Abb. 21: Prozentualer Zuwachs der medianen Tegner-Aktivitäts-Scores zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status

3.8 Klinische Stabilität

Die klinische Untersuchung des operativ versorgten VKB fand zu den Zeitpunkten prä-OP, sowie 6, 12, und 24 Monate post-OP statt. Dabei wurde die operierte Seite im Vergleich zur Gegenseite als „normal“, „fast normal“, „abnorm“ oder „stark abnorm“ beurteilt. Die Untersuchungen setzten sich aus dem Lachmann-Test, dem Bandanschlag und dem Pivot-Shift-Test zusammen (s. Abb. 22).

Vor dem Eingriff zeigten 1 Patient ein „normales“, 14 Patienten ein „fast normales“, 25 Patienten ein „abnormes“ und 1 Patienten ein „stark abnormes“ Untersuchungsergebnis. Das mediane Untersuchungsergebnis lag in der Kategorie „abnorm“.

6 Monate nach der OP ergab die Untersuchung bei 24 Patienten ein „normales“, bei 17 Patienten ein „fast normales“ und bei 5 Patienten ein „abnormes“ Ergebnis. Zu diesem Zeitpunkt lag das mediane Ergebnis im „normalen“ Bereich.

12 Monate nach dem Eingriff zeigten 20 Patienten ein „normales“, 13 Patienten ein „fast normales“, 3 Patienten ein „abnormes“ und 1 Patient ein „stark abnormes“ Ergebnis. Das mediane Ergebnis blieb konstant bei „normal“.

Nach 24 Monaten zeigten 6 Patienten ein „normales“, 10 Patienten ein „fast normales“ und jeweils 1 Patient ein „abnormes“ bzw. „stark abnormes“ Ergebnis. Der Median lag bei „fast normal“.

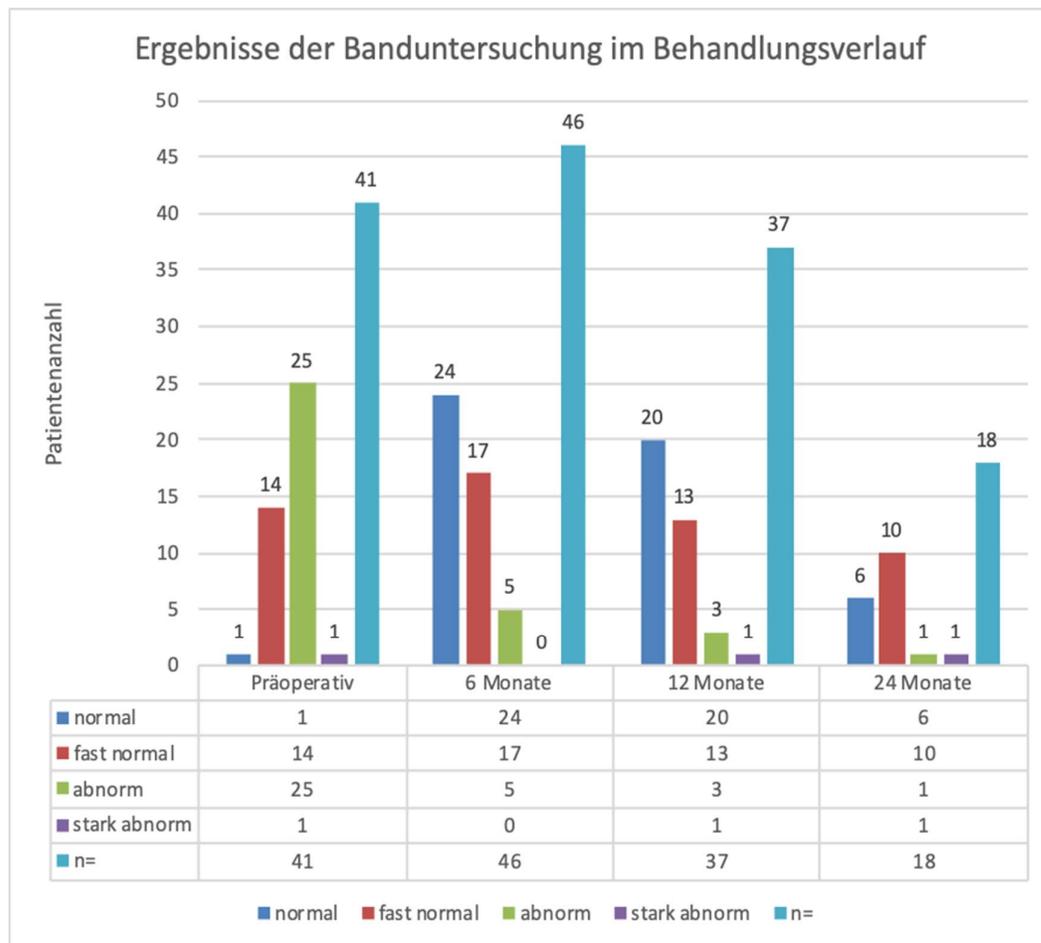


Abb. 22: Ergebnisse der klinischen Banduntersuchung im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population)

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Die Individualverläufe (vgl. Abb. 23) belegen, dass auch hier ein Großteil der Veränderungen in den ersten 12 Monaten nach der OP stattfand. Nur ein Patient zeigte im weiteren Verlauf (12–24 Monate) weitere Veränderungen.

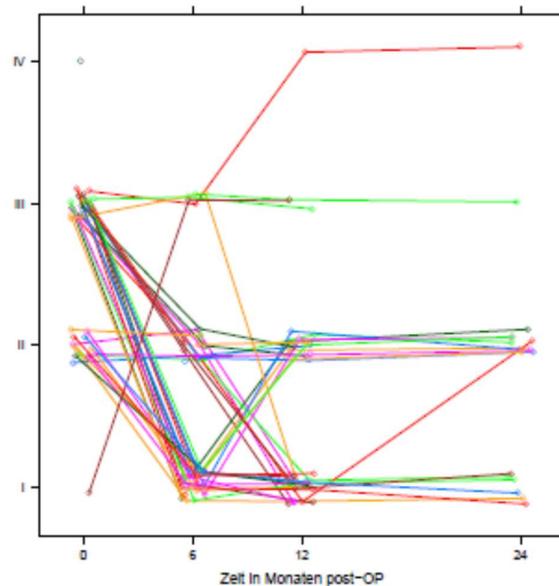


Abb. 23: Individualverläufe der klinischen Banduntersuchungsergebnisse vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

I = „normal“, II = „fast normal“, III = „abnorm“, IV = „stark abnorm“

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung der Banduntersuchungsergebnisse erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,0001$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.9 Seitendifferenz (KT-1000-Messung)

Die KT-1000 Messungen ergaben präoperativ im Median eine Differenz von 3 mm zwischen der betroffenen Seite und der Gegenseite (s. Abb. 24). 6 (n = 49) und 12 Monate (n = 42) postoperativ lag die Differenz bei 2 mm und bei 24 Monaten bei 3 mm (n = 20).

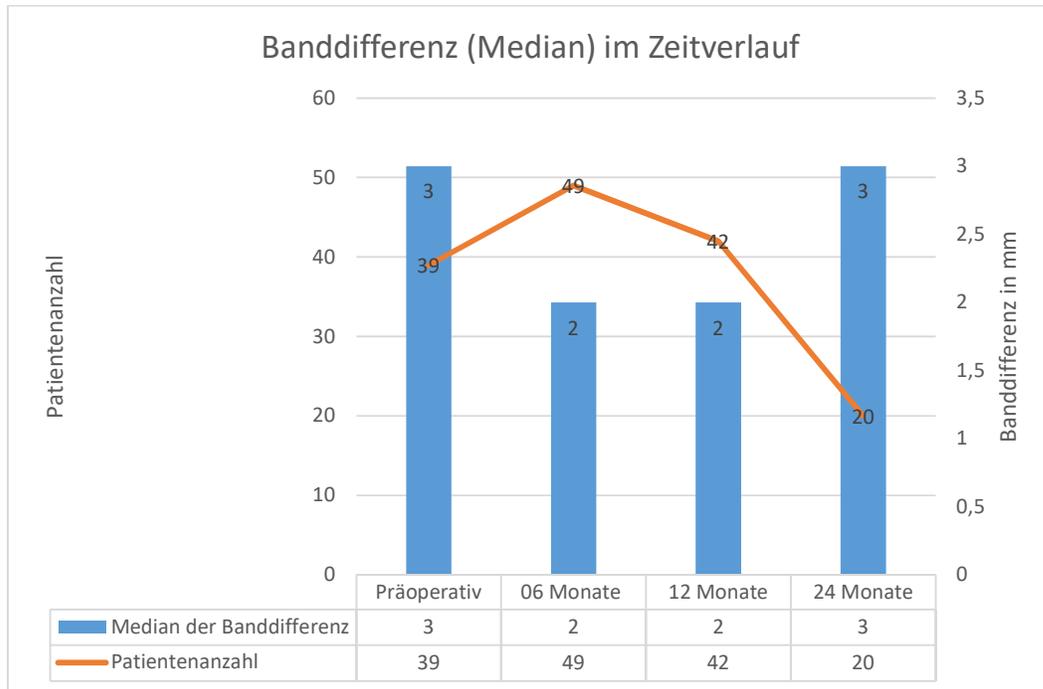


Abb. 24: KT-1000-Messung – mediane Differenz (mm) zwischen der betroffenen und gesunden Kniesseite im zeitlichen Verlauf

Erklärung zu den fehlenden präoperativen Werten siehe Kap. 4.6

Im Vergleich zum präoperativen Status nahm die Differenz 6 Monate nach dem Eingriff um 40 % ab. 12 Monate und 24 Monate nach der OP betrug Abnahme jeweils 29,2 % (vgl. Abb. 25).

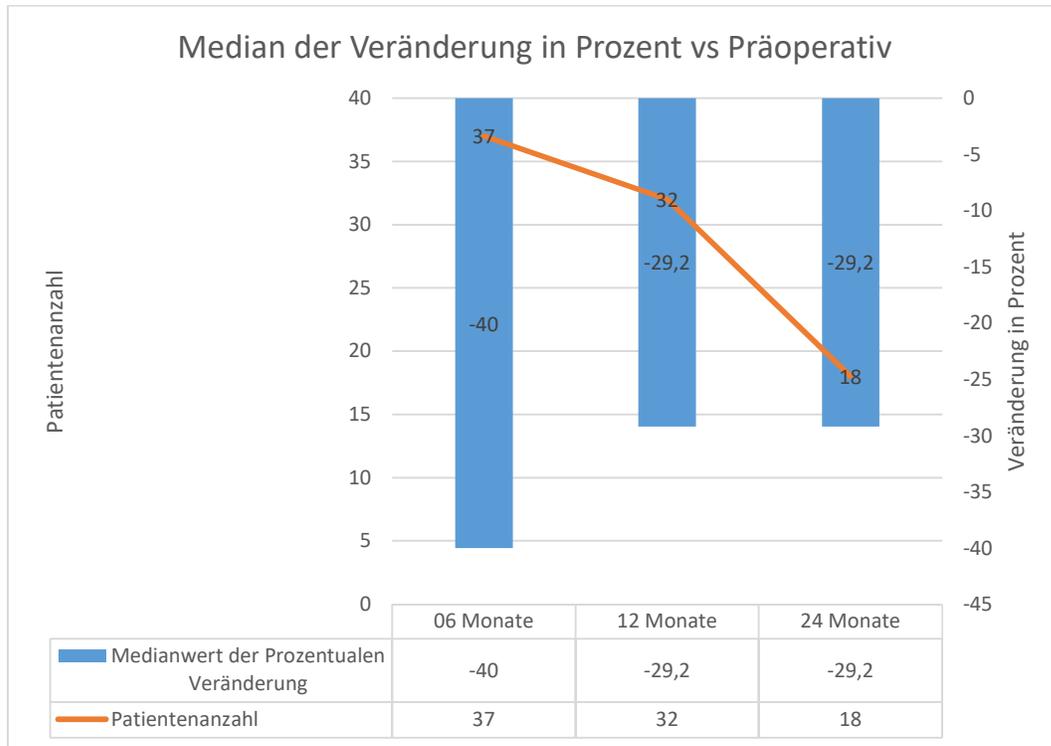


Abb. 25: Prozentualer Abnahme der Seitendifferenz (KT-1000-Messung) zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status

Die Individualdaten belegen erneut (s. Abb. 26), dass der Differenzen innerhalb der ersten 12 Monate am größten waren. In den folgenden 12 Monaten stabilisierten sich die individuellen Verläufe. In einigen Fällen verschlechterten sich die Werte jedoch erneut, so dass die mediane Differenz wieder auf 3 mm anstieg.

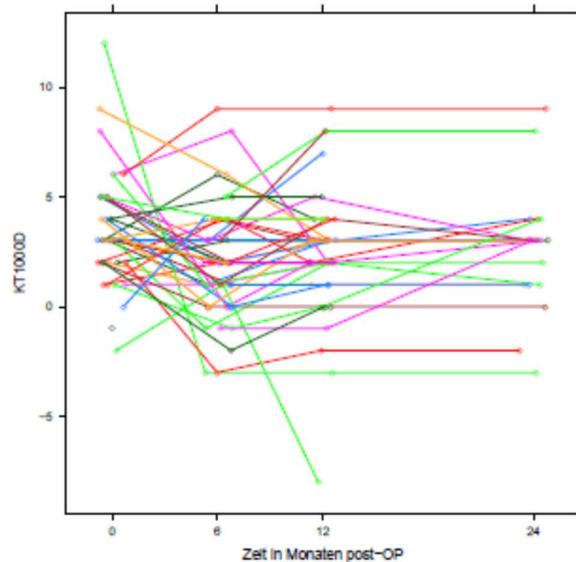


Abb. 26: Individualverläufe der Seitendifferenz (in mm; KT-1000-Messung vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population)

Die farbigen Linien entsprechen einem Patienten. Die aus den auftretenden Wertedoppelungen resultierenden Überlagerungen werden durch eine zufällige horizontale und vertikale „Verwackelung“ der Messdaten reduziert.

Die Beobachtung der Seitendifferenz erfolgte entlang der Zeitachse ausgehend vom Zeitpunkt 0, über die Zeitpunkte 6-, 12-, und 24-Monate postoperativ. Die hierbei auftretenden Veränderungen sind signifikant ($p < 0,04$). Die Ermittlung erfolgte nach BRUNNER und LANGER (siehe Kap. 2.4)

3.10 VKB-Kontinuität (MRT-Daten)

Postoperativ (6, 12 und 24 Monate) wurde eine standardisierte Bildgebung durchgeführt (s. Abb. 27. Nach 6 Monaten war bei 29 Patienten die Kreuzbandkontinuität vollständig hergestellt, bei 7 Patienten teilweise und bei 2 Patienten unvollständig. Nach 12 Monaten wurde bei 12 Patienten eine vollständige, bei 3 Patienten eine teilweise und bei keinem Patienten eine unvollständige Bandstruktur beobachtet. Nach 24 Monaten war bei 10 Patienten das VKB intakt und bei zwei Patienten nicht.

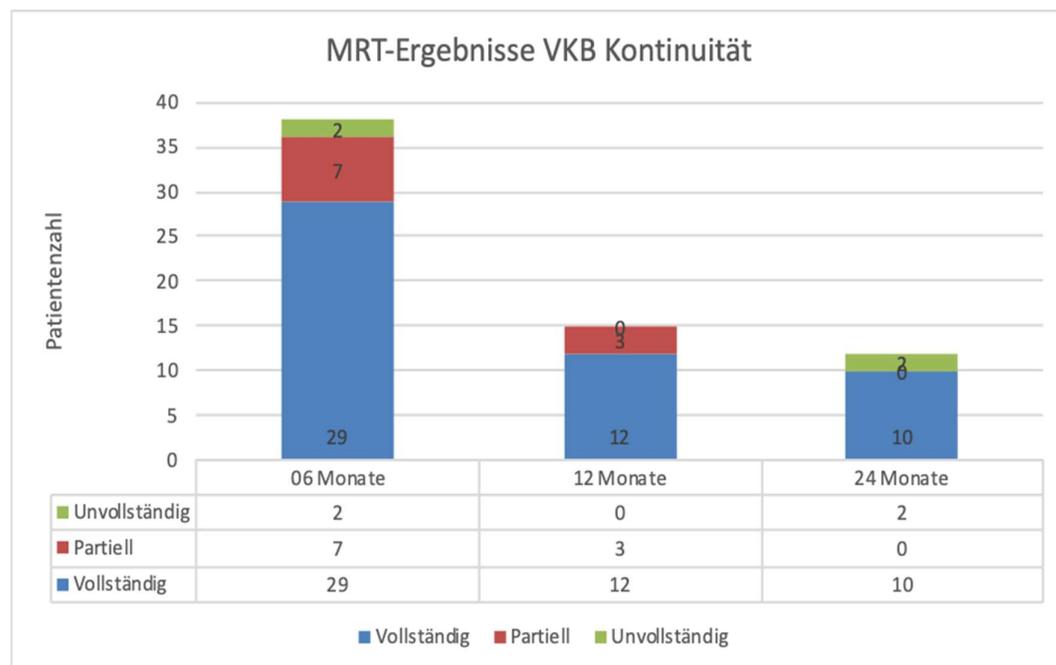


Abb. 27: Kontinuität des vorderen Kreuzbands (MRT-Ergebnisse)

3.11 Unerwünschte Ereignisse

Im Studienverlauf zeigten 14 Patienten unerwünschte Ereignisse. Bei 11 Teilnehmern kam es zu einer traumabedingten Re-Ruptur nach Wiederaufnahme der sportlichen Aktivität. 7 dieser Patienten wurden mit einer Semitendinosus-Plastik behandelt. Bei 3 Patienten wurde im Verlauf frühzeitig ein Streckdefizit festgestellt. Bei der Re-Arthroskopie dieser Fälle zeigte sich bei allen Betroffenen eine Hypertrophie der VKB-Faser im Bereich des Interkondylarraumes. Das Problem konnte durch eine schonende Resektion der hypertrophen Anteile des VKB behandelt werden. Durch eine intensiviertere postoperative Physiotherapie erreichten alle Patienten ein normales Bewegungsausmaß.

4 Diskussion

4.1 Therapie der VKB-Ruptur – derzeitiger Stand

Die VKB-Plastik stellt aktuell eine erfolgreiche operative Therapieoption bei VKB-Rupturen dar. Gemäß der aktuellen S1-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) können durch diese Intervention Folgeschäden vermieden werden **[DGU Leitlinie 012-005]**. Besonders für junge und sportlich aktive Menschen wird die operative Versorgung favorisiert. Die am häufigsten durchgeführte Rekonstruktionstechnik verwendet autologes Material aus dem Bereich des Pes anserinus (Semitendinosus- und Gracilis-Sehne) oder aus der Patellarsehne **[Anderson et al. 2001, Baer und Harner 2007, Mascarenhas und MacDonald 2008]**. Die Beseitigung der VKB-Instabilität ist laut aktueller Studienlage essentiell, um Begleitschäden (z. B. Knorpelschaden, Meniskusriss etc.) zu behandeln bzw. zu verhindern.

Neben den Vorteilen birgt die VKB-Plastik auch Risiken. Verfahren mit autologem Spendermaterial gehen mit einer Entnahmemorbidität einher und die OP ist aufgrund der im Vergleich zur HR höheren Invasivität mit einem größeren Risiko für unerwünschte Ereignisse verbunden **[Baer und Harner 2007, Wagner et al. 2006]**.

Bei der VKB-Plastik kann es zu Verletzungen mit konsekutiven Hämatomen und in seltenen Fällen auch mit Infektionen im Entnahmegebiet der Sehne sowie im Gelenk kommen **[Tjounakaris et al. 2012]**. Das Infektionsrisiko wird mit 0,14–1,7 % beziffert **[Stucken et al. 2013]**. Durch frische Transplantate von Fremdspendern (Allograft, Allo-Transplantate) lässt sich zwar der Hebedefekt vermeiden; es besteht jedoch das Risiko von viralen Infektionen. STUCKEN et al. **[2013]** beschrieben in drei Fällen eine Übertragung viraler Erreger (HIV: n= 1; HCV: n = 2) durch Allo-Transplantate. Ebenso kam es in 53 Fällen zu Transplantat-bedingten, bakteriellen Infektionen.

Weiter besteht das Risiko einer neuralen Schädigung. In der retrospektiven Datenanalyse mit 164 Patienten von SANDERS et al. **[2007]** zeigten 74 % der Befragten sensorische Einschränkungen nach der VKB-Rekonstruktion. In 23 % der Fälle trat eine Verletzung des terminalen Astes des Nervus saphenus und bei 19 % der Patienten eine Verletzung des infrapatellaren Astes des Nervus saphenus auf. Bei 32 % waren beide Äste betroffen.

Bei der Verwendung der Patellarsehne als Transplantat kann es auch zu Patella-Frakturen kommen. TAY et al. [2006] bezifferten das Risiko mit lediglich 0,55 %. Daneben berichteten verschiedene Fallberichte über diese Komplikation [DuMontier et al. 2001, Lee et al. 2008, Milankov et al. 2012, Piva et al. 2009].

Ein zusätzliches Risiko ist ein eventueller Muskelkraftverlust im Entnahmegebiet der für die VKB-Rekonstruktion verwendeten Sehne. Die Schwächung der ischiocruralen Muskulatur kann eine unterschiedlich langanhaltende Kniebeugeschwäche (bis zu 5 Jahre) von etwa 10–15 % Kraftverlust bei den VKB-Agonisten zur Folge haben [Abbey et al 2013, Petersen et al. 2014, Tashiro et al. 2003, Tjounakaris et al. 2012].

LOGERSTEDT & SENNETT [2007] berichteten in einer Fallserie über schmerzhafte Bewegungseinschränkungen nach VKB-Rekonstruktion aufgrund fehlplatzierter Bohrkanäle oder metabolischer Faktoren, die zu einer Arthrofibrose bei den Betroffenen führten.

Auch die Wahl der Verankerungstechnik (Interferenz-Schrauben, Stifte, Anker) und Implantat-Materialien (Metall, bioresorbierbare Materialien) beeinflusst das Risiko für Komplikationen nach VKB-Rekonstruktionen. So sind voluminöse Schrauben bei Revisionseingriffen ein Hindernis, da sie nach Entfernung oder unvollständiger Resorption einen Knochendefekt hinterlassen, der durch eine Spongiosaplastik rekonstruiert werden muss. In Einzelfällen wurden Knorpelschäden beschrieben, nachdem abgebrochene Teile einer Schraube aus Biomaterial ins Gelenkinnere gelangt waren [Baums et al. 2006, Lembeck und Wülker 2005].

Wenn Semitendinosus- und Gracilis-Sehnen durch die Gefahr eines unbeabsichtigten Abreißens im sehnigen Anteil nicht ausreichend lang abpräpariert werden, kann das Transplantat zu kurz sein. Missverhältnisse zwischen Bohrkanal und Transplantat oder eine fehlerhafte Positionierung der Bohrkanäle können postoperative Bewegungseinschränkungen, Rotationsinstabilitäten, Transplantatversagen durch rezidivierende Transplantateinklemmung oder vollständige Transplantatausrisse nach sich ziehen [Tjounakaris et al. 2012].

Trotz der beschriebenen Probleme ist die anatomische VKB-Plastik mit autologem Material eine erfolgreiche und sichere Therapiemethode zur Wiederherstellung der Biomechanik. Eine vollständige Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands auf Zellebene unterbleibt jedoch [Fu et al. 1999, Gulotta und Rodeo 2007]. Außerdem kommt es zum Verlust der Propriozeption und neuralen Innervation im Gelenk [Gulotta und Rodeo 2007, Hu et al. 2014, Taketomi et al. 2014].

Die rein konservative Therapie ist im Vergleich zur VKB-Plastik eine schlechtere Alternative. Aufgrund funktioneller Beschwerden können lediglich 59–72 % der konservativ behandelten Patienten ihre sportlichen Aktivitäten wiederaufnehmen [Buss et al. 1995, Giove et al. 1983, Mc Daniel und Dameron 1980]. Außerdem beschreiben die meisten konservativ behandelten Patienten ein Instabilitätsgefühl im Kniegelenk („Giving way“), das zu deutlichen Einschränkungen bei den Alltagsaktivitäten [Hinterwimmer et al. 2003] und beim Sport führt. In der Studie von BONAMO et al. [1990] konnten bei konservativer Versorgung einer VKB-Ruptur lediglich 49 % der Patienten ihre ursprünglichen sportlichen Aktivitäten wiederaufnehmen. In der Untersuchung von NOYES et al. [1983] verbesserte sich unter konservativer Therapie zwar bei einem Drittel der Patienten die Kniefunktion, doch kein Patient erreichte eine „normale“ Funktion, oder konnte an anspruchsvollen sportlichen Aktivitäten teilnehmen. Auch die konservativ behandelten Patienten in der Analyse von FINK et al. [2001] waren in ihren sportlichen Aktivitäten deutlich eingeschränkt. Im Kollektiv von MIHELIC et al. [2011] zeigten 84 % der nicht-operativ versorgten Patienten nach 17–20 Jahren instabile Kniegelenke. Laut PREISS et al. [2012] ist die operative der konservativen Therapie in Bezug auf Stabilität und Beibehaltung sportlicher Aktivitäten überlegen. Nach CASTELEYN & HANDELBERG [1996] liefert eine konservative Therapie aber akzeptable Ergebnisse, wenn die Patienten risikoreiche sportliche Aktivitäten meiden. Diese These wird durch die Befunde von DELINCÉ & GHAFIL [2012] unterstützt, die belegen, dass die Kniestabilität durch ein intensives neuromuskuläres Training verbessert werden kann.

Die Frage der Überlegenheit der konservativen oder operativen Therapie bei der Behandlung von VKB-Rupturen ist weiterhin in Klärung durch Studien. Laut SMITH et al. [2014] gibt es zwar zahlreiche Studien zu beiden Therapieverfahren, die jedoch aufgrund ihrer Heterogenität kaum vergleichbar sind. Auch DAWSON et al. [2014] kommen zu dem gleichen Schluss. Auch die Übersichtsarbeit von KRAUSE et al. [2018] belegt, dass bezüglich der Frage, ob eine operative oder konservative (abwartende) Therapie zu einem besseren funktionellen Ergebnis führt, zwar keine klare Aussage getroffen werden kann, dass aber die Rate der Patienten, die ihre sportlichen Aktivitäten nach einer VKB-Plastik wiederaufnehmen, tendenziell höher liegt. Jedoch entschließen sich die meisten konservativ behandelten Patienten nachträglich für eine VKB-Plastik.

4.2 Healing Response als neue Therapieoption

Die unterschiedlichen Möglichkeiten der Versorgung nach VKB-Verletzungen stehen weiterhin im Fokus wissenschaftlicher Diskussionen. Für sportlich aktive Patienten mit Giving-Way und dem Ziel der schnellen Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten ist die operative Versorgung jedoch das Mittel der Wahl. Operative Verfahren sollten bei geringer Invasivität und möglichst geringen Entnahmeschäden **[Bucher et al. 2010]** die korrekte Anatomie und das Bewegungsausmaß vor dem traumatischen Ereignis wiederherstellen **[Warth et al. 2013]**.

Daher wäre eine Alternative zwischen der invasiven VKB-Rekonstruktionsplastik und einer rein konservativen Therapie wünschenswert. Die in der vorliegenden Arbeit behandelte HR-Technik stellt eine solche Alternative dar. Besonders bei partiellen Rupturen besteht die Möglichkeit der Refixation proximaler Ausrisse des VKB mittels HR **[Achnich et al. 2018]**. Diese kann sowohl mittels Anker-Refixation **[Achnich et al. 2018]** oder mit der in der vorliegenden Studie verwendeten Methodik, welche ohne zusätzliche Fixierung oder Augmentation auskommt, erfolgen. Bei einer dynamischen intraligamentären Stabilisierung (DIS) wird die Heilung durch ein Federsystem mechanisch unterstützt **[Ateschrang et al. 2018]**. Einige Studien berichten über positive Erfahrungen beim mittelfristigen Outcome **[Benco et al. 2018]**; es fehlen aber randomisierte Vergleichsstudien **[Ahmad et al. 2018]**. Auch die Kombination einer HR mit der lokalen Injektion von Wachstumsfaktoren aus autologem konditioniertem Plasma (Plättchen-reiches Plasma) zeigt vielversprechende mittelfristige Ergebnisse **[Koch et al. 2018]**.

Aktuell ist die HR eine wichtige therapeutische Ergänzung in der frühen Phase der operativen Versorgung. Allerdings hat sich die Methode bislang noch wenig etabliert. Ein Großteil der Studien zur operativen Behandlung von VKB-Rupturen beschäftigt sich auch aktuell mit der Transplantatwahl und der Positionierung der Kreuzbandplastik **[Baer und Harner 2007, Beynnon et al. 2005, Fu et al. 2000]**.

Die in der vorliegenden Studie thematisierte, Kreuzband-erhaltende Methode ist nur innerhalb eines kurzen Zeitfensters nach dem Trauma anwendbar. Daher ist die Rekrutierung solcher Patienten seltener. Die HR basiert auf der Primärheilung von verletztem Bindegewebe durch Förderung physiologischer Reparaturmechanismen. Das Vorhandensein von mesenchymalen Stammzellen, Wachstumsfaktoren und Zytokinen in einem Hämatom ist für die Heilung von intra- und extra-artikulären Bandstrukturen ausschlaggebend **[Fu et al. 1999, Murray 2009]**. Tiermodellstudien

belegen, dass partiell beschädigte VKB primär heilen können [Hefti et al. 1991]. Durch eine therapeutische Eröffnung der subchondralen Knochenplatte und dem resultierenden Einstrom von Blut und mesenchymalen Stammzellen bildet sich ein wachstumsförderndes Gerinnsel (Super-Clot) um die Risszone und das verletzte Gewebe wird durch Selbstheilung repariert [Babb et al. 2008, Rodkey et al. 2006]. Die HR-Technik basiert auf der Erhaltung von anatomischen und neurologischen Strukturen durch Minimierung des Eingriffstraumas, der unterstützenden Regeneration und auf einem speziellen auf die HR abgestimmten Nachbehandlungsprogramm. Da die Innervation des VKB wichtige Informationen über die Gelenkstellung an das zentrale Nervensystem übermittelt [Barrack et al. 1989, Ingersoll et al. 2008], sollten VKB-Fasern in möglichst großer Zahl erhalten bleiben [Dhillon et al. 2011]. Der Erhalt propriozeptiver neurologische Strukturen erlaubt eine schnellere Wiederaufnahme von Alltags- und Sportaktivitäten.

Basierend auf dem Vorgehen von STEADMAN et al. [2006] sollte die vorliegende, einarmige Studie zunächst die Machbarkeit und Sicherheit der HR nachweisen. Das Einrichten einer Kontrollgruppe ohne operative Therapie war zum Zeitpunkt der Studie aufgrund der schlechteren Ergebnisse der konservativen Therapie aus ethischer Sicht schwer vertretbar und daher nicht angestrebt. Auch die im Rahmen einer diagnostischen Arthroskopie unmittelbar nach der Verletzung übliche Entfernung der VKB-Reste zur Verhinderung einer Einklemmung und Bindegewebs-Hypertrophie (Cyclops-Läsion [Irisawa et al. 2007, Wang und Ao 2009]) war aus ethischer Sicht nicht als Kontrolle geeignet, da bei diesem Vorgehen auch neurologische und vaskuläre Strukturen (Blutversorgung über den Synovialschlauch) zerstört werden, wodurch eine Ausheilung des VKB unmöglich wird [Dhillon et al. 2011].

Der Erhalt der natürlichen Kreuzband-Fasern und der neurologischen Fasern ist unumstritten von großer Bedeutung. HU et al. [2014]. kommen in ihrer auf 13 Studien basierenden Übersichtsarbeit zu dem Schluss, dass zumindest mittelfristig VKB-erhaltende Verfahren im Vergleich zu vollständig resezierenden Verfahren gleichwertige und bessere klinische Ergebnisse erzielen.

Immer häufiger äußern auch Patienten zudem den Wunsch nach einem Verfahren ohne Entnahme von autologem Sehnenmaterial oder Einbringung von Fremdmaterial. Laut der vorliegenden Ergebnisse ist die HR bei Einhaltung spezifischer Auswahlkriterien eine funktionsfähige und sichere Therapiealternative. Bei der Aufklärung des Patienten muss aber das Risiko einer ungenügenden Stabilisierung oder Re-Ruptur (weniger als 20% in der vorliegenden eigenen Studie) besprochen werden. Ob die HR-Technik als

primäres Verfahren in Frage kommt, hängt vom Zeitpunkt sowie von der arthroskopischen Beurteilung des VKB ab.

4.3 Ergebnisse nach HR – objektive Kriterien

In der vorliegenden prospektiven Studie verbesserte sich bei über 80 % der Probanden die Stabilität und Funktion des Knies deutlich. Lediglich in 5,2 % der Fälle konnten im MRT nicht intakte VKB nachgewiesen werden. Die präoperativ gemessene Instabilität (Differenz > 3 mm im Vergleich zur Gegenseite [**Ballantyne et al. 1995, Hanten und Pace 1987**]) konnte bei 94,8 % der Patienten ganz oder zumindest teilweise behoben werden.

Die Funktionalität des betroffenen Knies (TAS) und die Zufriedenheit der Patienten (Lysholm-Gillquist-Score) verbesserte sich signifikant innerhalb der ersten 6 Monate nach dem Eingriff und blieb im weiteren Verlauf über 18 Monate stabil. Der TAS stieg im Median von 2 Punkten präoperativ auf 5 Punkte bzw. 6 Punkte (6 bzw. 12 Monate) postoperativ an. Dieser Wert erlaubt eine sportliche Aktivität auf mittlerer Wettkampfebene. Der Lysholm-Gillquist-Score erhöhte sich von präoperativ 40 von 100 möglichen Punkten auf 93,5 Punkte 6 Monate postoperativ.

Zahlreiche Studien zu klassischen, rekonstruktiven Verfahren zur Reparatur von VKB-Rupturen ergaben schlechtere funktionelle Resultate. Die prospektive Studie von VICTOR et al. [**1997**] mit 73 Patienten verglich die Ergebnisse zweier konventioneller / „klassischer“ operativer Rekonstruktionsverfahren nach 6, 12 und 24 Monaten. Beide Gruppen erreichten nach 24 Monaten im Vergleich zu den vorliegenden Daten geringere TAS- (Gruppe 1: 4,75 Punkte, Gruppe 2: 4,41 Punkte vs. 6 Punkte) und Lysholm-Gillquist-Score-Werte (Gruppe 1: 92,6 Punkte, Gruppe 2: 85,4 Punkte vs. 93,5 Punkte) (s. Abb. 31–32).

KUSTOS et al. [**2004**] erzielten ebenfalls mit zwei operativen Verfahren beim postoperativen Lysholm-Gillquist-Score lediglich 89,9 bzw. 84,1 Punkte. Auch gegenüber den Studienergebnissen von DROGSET et al. [**2006**], PINCZEWSKI et al. [**2007**] und LAXDAL et al. [**2005**] erwiesen sich die vorliegenden Resultate als überlegen. Lediglich FINK et al. [**2001**] und EDGAR et al. [**2008**] erzielten vergleichbare Erfolge (s. Abb. 28 + 29).

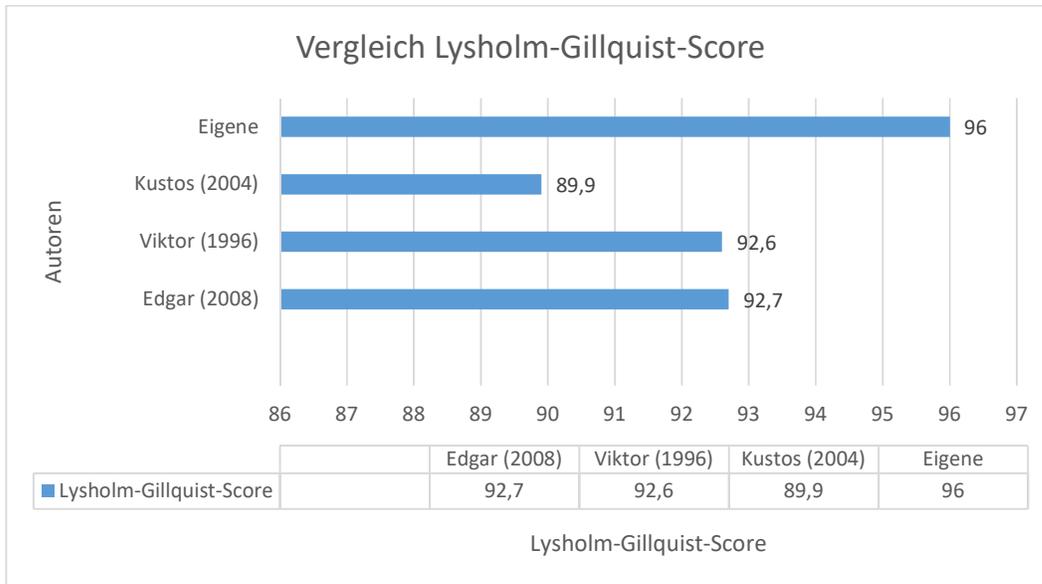


Abb. 28: Lysholm-Gillquist-Score – Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Resultaten konventioneller VKB-Rekonstruktionen

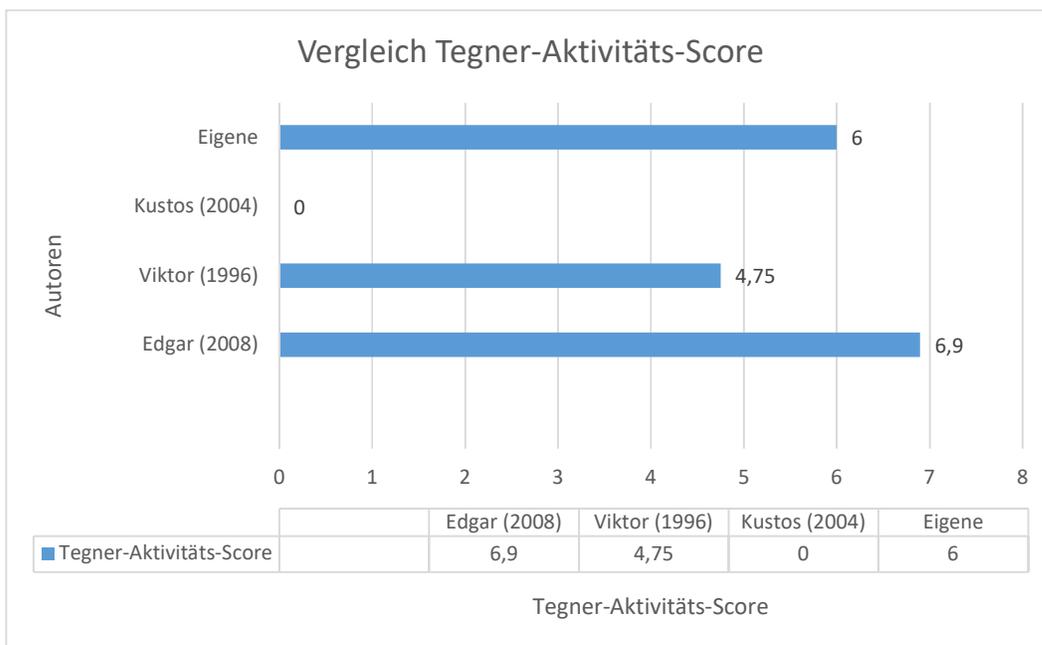


Abb. 29: Tegner-Aktivitäts-Score – Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Resultaten konventioneller VKB-Rekonstruktionen

Durch die Kombination des TAS und des Lysholm-Gillquist-Scores war es möglich, sowohl die subjektive Zufriedenheit im Alltag als auch die sportliche Aktivität der

Patienten zu beurteilen. Der steile Anstieg beider Score-Werte innerhalb der ersten 6 Monate spiegelt den schnellen Erfolg der Therapie und die zügige Wiederherstellung der Alltags- und sportlichen Funktionen wider.

In der Studie von STEADMAN et al. [2006] erfolgte erstmalig die operative Versorgung einer VKB-Ruptur nach der HR-Methode. In der 2006 veröffentlichten Studie erreichten die Patienten durchschnittlich 69 Monate nach der OP beim Lysholm-Gillquist-Score 96 Punkte und beim TAS 8,5 Punkte.

In unserer Studie erzielten die Patienten 96 Punkte beim Lysholm-Gillquist-Score und 6 Punkte beim TAS 24 Monate nach der OP. Dies ist als exzellentes Ergebnis zu bewerten [Wright 2009].

Beim Vergleich unserer Studie mit der von STEADMAN fielen geringe Unterschiede in der Studienpopulation (57 vs. 48 Patienten), dem Follow-Up (24 Monate vs. > 2 Jahre) und dem Durchschnittsalter der Patienten (31 vs. 51 Jahre) [Steadman et al. 2006, 2012] (s. Abb. 30) auf.

In einer späteren Studie erzielten STEADMAN et al. [2012] mit 90 Punkten einen geringeren Lysholm-Gillquist-Score, möglicherweise aufgrund des höheren Alters der Patienten. Auch der erzielte TAS-Wert lag mit 5 Punkten unter dem in der vorliegenden Arbeit erzielten Wert (6 Punkte) (s. Abb. 30).

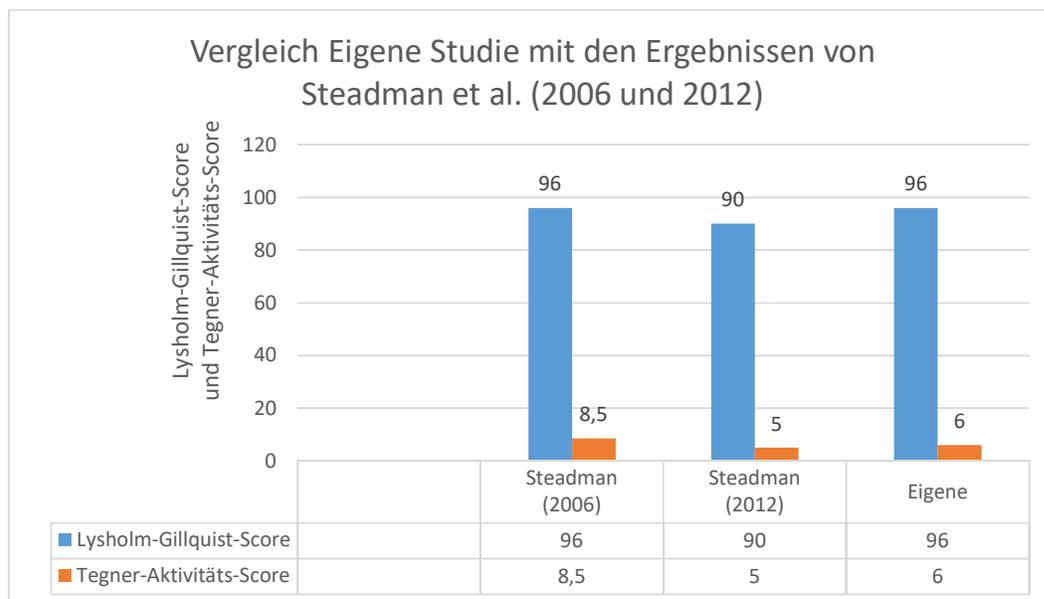


Abb. 30: Vergleich der eigenen Studienergebnisse (Lysholm-Gillquist-Score und Tegner-Aktivitäts-Score) mit den Ergebnissen von STEADMAN et al. [2006, 2012]

Auch JORJANI et al. **[2013]** behandelten 126 Patienten mit einer HR. In einem Nachbeobachtungszeitraum von bis zu 8 Jahren erreichten die Patienten einen durchschnittlichen Lysholm-Gillquist-Score von 92 Punkten und einen Zuwachs von 72 % beim präoperativen TAS-Wert. Auch diese Befunde sind trotz geringfügiger Abweichungen mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichbar.

Alle Arbeiten zur HR-Therapie nach VKB-Rupturen belegen anhand der postoperativ erhöhten klinischen Scores die Effizienz der Methodik. Die Ergebnisse der HR sind bei korrekter Indikation mit den Resultaten invasiverer VKB-Rekonstruktionsverfahren zumindest vergleichbar.

Bei STEADMAN et al. **[2006]** lag die durchschnittliche postoperative VKB-Seitendifferenz bei 2,6 mm. Bei der KT-1000-Messung ist eine Seitendifferenz von über 3 mm als pathologisch zu werten. In der vorliegenden Arbeit fiel die mediane Seitendifferenz zunächst auf 2 mm ab, um nach 24 Monaten wieder auf 3 mm anzusteigen. Dieser Anstieg beruht möglicherweise auf dem kleineren Patientenkollektiv (6 Monate: n = 49; 24 Monate: n = 20), bei dem einzelne Werte ein größeres Gewicht haben. Die durchschnittliche Seitendifferenz betrug nach 24 Monaten 2,65 mm im Vergleich zu 2,38 mm nach 12 Monaten. Bei JORJANI et al. **[2013]** lag die durchschnittliche postoperative Seitendifferenz bei 1,3 mm und bei EDGAR et al. **[2008]** bei 1,5 mm (Allograft) bzw. 1,4 mm (Autograft). Gemessen an dem oben genannten Kriterium erzielten sie bei 92 % bzw. 98 % der Patienten stabile Kreuzband-Verhältnisse.

Bei FINK et al. **[2001]** betrug die durchschnittliche Seitendifferenz in der Gruppe der operierten Patienten zur Endpunkt-Nachuntersuchung 2,0 mm. Auch die von DROGSET et al. **[2006]** ermittelten Seitendifferenz-Werte 5 Jahre postoperativ für drei OP-Techniken (Primärnaht: 2,7 mm, Zuhilfenahme eines Ligament Augmentation Device: 2,3 mm und Patellarsehnenimplantat: 1,3 mm) bewegten sich in der gleichen Größenordnung wie die vorliegenden Daten. Dagegen lagen die durchschnittlichen Seitendifferenz-Werte bei VICTOR et al. **[1997]** nach 24 Monaten mit 7,4 mm bzw. 8,3 mm bei mittels Autograft bzw. Allograft versorgten VKB-Rupturen deutlich über den vorliegenden Messwerten. Präoperative Werte wurden nicht ermittelt.

4.4 Ergebnisse nach HR – Patientensicht

In der vorliegenden Studie ergaben sich für alle subjektive Messparameter (subjektive Kniefunktion, Schmerzempfinden, Begleitsymptome, Bewegungsdefizit Banduntersuchung) signifikante Verbesserungen im postoperativen Verlauf. Die subjektive Kniefunktion wurde präoperativ von 51 % der Patienten als „eingeschränkt“ und von 24 % der Patienten als „stark eingeschränkt“ bewertet. Kein Patient beurteilte seine Kniefunktion als normal. 24 Monate nach der OP bewerteten 58 % der Patienten ihre Kniefunktion als „normal“ und 32 % der Patienten als „fast normal“. Somit zeigten 90 % der Patienten ein positives Behandlungsergebnis.

Das Schmerzempfinden wurde präoperativ von 24,4 % bzw. 15,5 % der Patienten als „abnorm“ bzw. „stark abnorm“ eingestuft. 24 Monate nach dem Eingriff bewerteten lediglich 5,5 % ihre Schmerzen als „abnorm“ und 66,6 % als „normal“.

Die Begleitsymptome bei der Ausübung von Aktivitäten wurden präoperativ von 2 % der Patienten als „normal“ und von 11 % der Patienten als „fast normal“ empfunden. 24 Monate nach der OP gaben jeweils 44,4 % der Patienten „normale“ bzw. „fast normale“ Symptome an.

Auch das präoperative Bewegungsdefizit ging deutlich zurück (präoperativ: 51 % > 25°; 6,6 % 16–25°; postoperativ: 0 % > 25°; 5,5 % 16–25°). Dagegen stieg der Anteil der Patienten ohne nennenswertes Bewegungsdefizit (0–5°) von 30,8 % auf 83,3 % an.

Präoperativ beurteilten 2,4 % der Patienten die Funktion des von der VKB-Ruptur betroffenen Knies im Vergleich zur Gegenseite als „normal“ und 34,1 % der Patienten als „fast normal“. 24 Monate nach der OP erhöhten sich die Anteile auf 33,3 % und 55,5 %.

4.5 Unerwünschte Ereignisse

Bei 24,5 % der Patienten kam es im Verlauf der HR-Behandlung zu unerwünschten Ereignissen. Alle Re-Rupturen traten bei sportlicher Aktivität und somit bei voller Belastung und erhöhtem Inzidenzrisiko [Pakkari et al. 2004, 2008] auf. Mit 0,7–20 % variieren die Re-Ruptur-Raten in der Literatur deutlich [Ahdén et al 2012, Barrett et al. 2011, Hettrich et al. 2013, Lind et al. 2012, Magnussen et al. 2012, Morgan et al.

2012, Rahr-Wagner et al. 2013, Wright et al. 2012], wobei jüngere und sportlich aktivere Patienten ein höheres Risiko besitzen **[Ahldén et al 2012, Barrett et al. 2011, Hettrich et al. 2013]**. Das Risiko für eine Re-Ruptur ist innerhalb der ersten 2 Jahre nach der operativen Versorgung am größten **[Lind et al. 2012]**.

In der vorliegenden Studie kam es in 19,5 % der Fälle im Durchschnitt nach 13,1 Monaten zu einer Re-Ruptur bzw. Insuffizienz. Das Durchschnittsalter der von einer Re-Ruptur betroffenen Patienten lag bei 22,8 Jahren und somit im „kritischen Bereich“ unter 25 Jahren **[Barrett et al. 2011]**. In drei Fällen (5,2 %) kam es während der Behandlung zu einer Gewebehypertrophie und den daraus resultierenden Bewegungseinschränkungen (Zyklops). Die Hypertrophie-Rate entspricht den Ergebnissen von LAXDAL et al. **[2005]**, bei denen in 6,3 % der Fälle eine operative Revision aufgrund von Bewegungseinschränkungen erforderlich war. Anders als in anderen Studien trat in dem Kollektiv der vorliegenden Untersuchung kein Zyklops-Syndrom auf **[Cha et al. 2012, Wang und Ao 2009]**.

4.6 Limitationen der Studie

Kritisch zu bewerten ist, dass nur 20 der ursprünglich 57 eingeschlossenen Patienten bis zum Ende der Studienzeit (24 Monate postoperativ) teilnahmen (35 %). Zählt man die „Dropout“-Patienten hinzu, haben 43,7% der Patienten die Studie beendet.

Die langfristige Teilnahme war wegen der altersbedingt hohen Abwanderung aus dem Einzugsgebiet der Universität Giessen aufgrund beruflicher und privater Veränderungen erschwert (42,1 % (n = 24) der Patienten waren unter 30 Jahre). Beispielsweise befand sich eine Studienteilnehmerin am 12-Monats-Kontrolltermin für ein Praktikum in Australien. Aufgrund persönlicher Veränderungen verblieb sie dort länger als geplant und konnte auch die 24-Monats-Kontrolle nicht wahrnehmen. Andere Studienteilnehmer waren bedingt durch ihre berufliche Situation zeitlich so stark eingespannt, dass sie zu keinem Kontrolltermin erschienen.

Ein weiterer Kritikpunkt ist die geringe Anzahl der eingeschlossenen Patienten. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Rekrutierung des Patientenkollektivs nur durch einen Operateur erfolgte, da dieser als einziger das HR-Verfahren anbot. Vom Trauma bis zur Diagnose der VKB-Ruptur vergehen durch Warten auf den Arzttermin und das MRT häufig mehrere Wochen wertvolle Zeit. Außerdem kannten zum Zeitpunkt der Studie

noch wenige zuweisende Ärzte und Patienten die Möglichkeit der HR-Versorgung. Weiter war der Zahl der einwilligungsbereiten Patienten, die alle Einschlusskriterien erfüllten, begrenzt. Erst intraoperativ konnte unter Abwägung der Chancen und Risiken für den betroffenen Patienten über einen definitiven Studieneinschluss entschieden werden.

4.7 Ausblick und Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Studie erweitern unsere Kenntnisse über die Effizienz und Sicherheit der HR bei der Therapie von frischen VKB-Rupturen. Unerwünschte Ereignisse wie Re-Rupturen [Lind et al. 2012] oder Bewegungseinschränkungen [Laxdal et al. 2005] treten nach aktueller Studienlage und unseren Ergebnissen nur in einem vertretbaren Maß auf. Vertretbar sind diese Probleme unter der Voraussetzung, dass man Patienten darüber korrekt aufklärt. Die vorliegenden Daten bestätigen, dass es sich bei der HR um ein vielversprechendes operatives Kreuzband-erhaltendes Verfahren handelt, welches als Alternative zur VKB-Plastik und zur konservativen Therapie, beim Vorliegen eines frischen Kreuzbandrisses dem Patienten angeboten werden sollte. Entscheidend ist die Verbreitung der Kenntnis über eine solche Möglichkeit bei Ärzten und Patienten. Von den Patienten sehr oft genutzte Suchanfragen auf Internetportalen zeigen erfreulicherweise eine zunehmende Erwähnung der HR Technik. Schon der Verdacht auf einen Kreuzbandriss - wobei die Symptome in manchen Fällen sehr subtil sein können - sollte zu einem möglichst schnellen Aufsuchen eines Spezialisten und ein zeitnahes MRT führen. Ärzte, die das Verfahren anbieten ermöglichen während der Terminanfrage bei der Erwähnung eines frischen Kreuzbandrisses meist eine schnelle und unkomplizierte Terminvereinbarung. Daher ist im Ausblick von einer zunehmenden Verbreitung und Etablierung des Verfahrens auszugehen.

5 Zusammenfassung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbands (VKB) zählt zu den häufigsten Bandverletzungen des Kniegelenks. Aktuell gilt die arthroskopische Kreuzbandplastik mittels autologer Sehnen als therapeutischer „Goldstandard“. Nachteilig an dieser Therapieoption ist unter anderem der Verlust propriozeptiver Funktionen, das Auftreten von Entnahmemorbiditäten und das Risiko einer Rezidiv-Instabilität. Die in der vorliegenden Arbeit untersuchte Healing-Response (HR) ist eine Kreuzband-erhaltende minimalinvasive Alternative, die zu einer Primärheilung der verletzten VKB-Fasern führt. Die nachfolgende Arbeit stellt die 2-Jahres-Ergebnisse eines mit der HR-Methode behandelten Patientenkollektivs mit frischen Teilrupturen des VKB vor.

Im Zeitraum zwischen Februar 2005 und Oktober 2008 wurden 57 Patienten mit frischen VKB-Rupturen an der orthopädischen Klinik der Justus-Liebig-Universität Giessen nach HR-Methode behandelt und über 24 Monate nachbeobachtet. Dabei wurden nach 6, 12 und 24 Monaten der Lysholm-Gillquist-Score, der Tegner-Aktivitäts-Score (TAS), die VKB-Stabilität mittels KT-1000 Arthrometer und die Kontinuität des VKB mittels Magnetresonanztomografie (MRT) erfasst. Weiter bewerteten die Patienten zu diesen Zeitpunkten die Kniefunktion, das Schmerzausmaß und die auftretende Begleitsymptomatik bei Aktivität.

Postoperativ stiegen sowohl der Lysholm-Gillquist-Score (von 40 auf im Median 96 Punkten) als auch der TAS (von 2 auf im Median 6 Punkten) signifikant gegenüber den Ausgangswerten an. Die KT-1000 Messung ergab nach 24 Monaten eine Seitendifferenz unterhalb der pathologischen Grenze von 3 mm. Somit lagen postoperativ klinisch und subjektiv stabile VKB-Verhältnisse vor. Die Kontinuitätsmessungen im MRT belegten ebenso morphologisch intakte Verhältnisse. Bei nahezu allen Patienten hatte sich die Kniefunktion, das Schmerzausmaß und die auftretende Begleitsymptomatik bei Aktivität postoperativ deutlich verbessert. Die stärksten Veränderungen traten innerhalb der ersten 6 Monate postoperativ auf.

Laut den vorliegenden Ergebnissen handelt es sich bei der HR um eine wirksame und sichere Alternative zur operativen VKB-Plastik, sofern sie zum richtigen Zeitpunkt erkannt und innerhalb von zwei bis drei Wochen durchgeführt wird. Die erzielbare subjektive Zufriedenheit und objektive Funktionalität ist vergleichbar mit den Ergebnissen nach autologer VKB-Plastik, bei gleichzeitiger Vermeidung verschiedener, mit dieser Methode verbundenen Risiken. Bei erfolgreicher Anwendung erlaubt die Trauma-arme, Kreuzband-erhaltende HR-Technik eine mit der VKB-Plastik vergleichbare Wiederaufnahme der sportlichen Aktivitäten.

Abstract

The rupture of the anterior cruciate ligament (ACL) is one of the most common injuries of the knee. The most favored treatment is the use of arthroscopic repair using autologous tendons. The loss of proprioception, concomitant morbidity as well as the risk of reassessed instability are negative effects of this treatment option.

This study examined a new treatment method, called Healing Response (HR). HR is a minimally invasive technique, which preserves natural ACL fibers and leads to primary healing. The study presents the 2-year-results of patients who had partial ACL ruptures and got treatment after the HR protocol.

Between February 2005 and October 2008, 57 patients with fresh partial and subtotal ACL tears were operated at the Orthopedic Clinic of Justus-Liebig-University Giessen, following the HR method. Patients were regularly followed up until 24 months. Lysholm-Gillquist-Score, Tegner Activity Level, ACL stability (measured with the KT-1000 Arthrometer) and ACL continuity (using MRI) were recorded after 6, 12, and 24 months.

Additionally, knee function, pain and additional symptoms were recorded.

After operation the Lysholm-Gillquist-Score (from 40 points to 96 points) as well as Tegner Activity Level (from 2 to 6 points) rose significantly. KT-1000 measurement showed non pathologic difference below 3 mm after 24 months. Thus, postoperative clinical and subjective measurements showed stable results. The MRI examinations confirmed the morphologic continuity of the ACL too. Nearly all patients reported a gain of function as well as a reduction of pain and other negative outcomes. The biggest effect could be seen within the first 6 months after the operation.

Referring to these results HR can be called an effective and safe alternative to common treatment options of ACL tears. Satisfaction of the patients and objective measurements show comparable results with common treatment avoiding the usual risks. HR is a less traumatic, ACL preserving technique, which allows an early return of sportive activities after treatment.

6 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:

Ansicht eines gebeugten linken Kniegelenks von vorn mit Darstellung der Kreuzbänder, der Kollateralbänder und der Menisken [verändert nach Petersen und Tillmann 2002].....S.3

Abb. 2:

Chondraler Bandansatz [verändert nach Petersen und Tillmann 2002].....S.4

Abb. 3:

Schematische Darstellung des vorderen (oben) und hinteren Kreuzbands (unten) in Knieextension (links) und Flexion (rechts) [verändert nach Girgis et al. 1975].....S.5

Abb.4:

KT-1000-Arthrometer [Hanten und Pace 1987].....S.19

Abb. 5:

Schematische Darstellung der Messung mittels Arthrometer [verändert nach Hanten und Pace 1987].....S.19

Abb. 6:

Altersverteilung des Ausgangskollektivs.....S.24

Abb. 7:

Trauma-Ursachen der Efficacy-PopulationS.26

Abb. 8:

Subjektive Bewertung der Kniefunktion im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....S.27

Abb. 9:

Individualverläufe der Kniefunktion vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....S.28

Abb. 10:

Schmerzempfinden der Patienten im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....S.29

Abb. 11:

Individualverläufe des Schmerzempfindens vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....S.30

Abb. 12:

Begleitsymptome bei Aktivität der Patienten im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....S.32

Abb. 13:

Individualverläufe der Begleitsymptome vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....S.33

Abb. 14:

Extensions-Flexions-Defizit im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....S.34

Abb. 15:

Individualverläufe des Extensions-Flexions-Defizit vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....S.35

Abb. 16:

Lysholm-Gillquist-Score (Median) im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....S.36

Abb. 17:

Prozentualer Zuwachs der medianen Lysholm-Gillquist-Scores zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status.....S.37

Abb. 18:

Individualverläufe des Lysholm-Gillquist-Scores vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....S.38

Abb. 19:	
Tegner-Aktivitäts-Score (Median) im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....	S.39
Abb. 20:	
Individualverläufe des Tegner-Aktivitäts-Scores vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....	S.40
Abb. 21:	
Prozentualer Zuwachs der medianen Tegner-Aktivitäts-Scores zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status.....	S.41
Abb. 22:	
Ergebnisse der klinischen Banduntersuchung im Behandlungsverlauf (Efficacy-Population).....	S.42
Abb. 23:	
Individualverläufe der klinischen Banduntersuchungsergebnisse vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....	S.43
Abb. 24:	
KT-1000-Messung – mediane Differenz (mm) zwischen der betroffenen und gesunden Knieseite im zeitlichen Verlauf.....	S.44
Abb. 25:	
Prozentualer Abnahme der Seitendifferenz (KT-1000-Messung) zu den postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zum präoperativen Status.....	S.45
Abb. 26:	
Individualverläufe der Seitendifferenz (in mm; KT-1000-Messung vom präoperativen Zustand bis 24 Monate nach der OP (Efficacy-Population).....	S.45
Abb. 27:	
Kontinuität des vorderen Kreuzbands (MRT-Ergebnisse).....	S.46
Abb. 28:	
Lysholm-Gillquist-Score – Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Resultaten konventioneller VKB-Rekonstruktionen.....	S.54

Abb. 29:

Tegner-Aktivitäts-Score – Vergleich der vorliegenden Ergebnisse mit Resultaten konventioneller VKB-Rekonstruktionen.....S.54

Abb. 30:

Vergleich der eigenen Studienergebnisse (Lysholm-Gillquist-Score und Tegner-Aktivitäts-Score) mit den Ergebnissen von STEADMAN et al. [2006, 2012].....S.55

Abkürzungsverzeichnis

A.:	Arteria
ACL:	Anterior Cruciate Ligament
AM:	Anteromedial
AZ:	Aktenzeichen
BMI:	Body Mass Index
DIS:	Dynamisch Intraligamentäre Stabilisierung
EF-Defizit:	Extension-Flexion-Defizit
HKB:	Hinteres Kreuzband
HR:	Healing-Response
ICRS:	International Cartilage Repair Society
IKDC:	International Knee Documentation Committee
Lig.:	Ligamentum
M.:	Musculus
MRI:	Magnetic Resonance Imaging
MRT:	Magnetresonanztomografie
N:	Newton
OP:	Operation
PLA:	Polyactide
PL:	Posterolateral
TAS:	Tegner-Aktivitäts-Score
TE:	Echozeit
TR:	Repetitionszeit
TSE:	Turbo-Spin-Echo
VKB:	Vorderes Kreuzband

8 Literaturverzeichnis

Abbey CT, Villwock M, Wojtys EM, Palmieri-Smith RM. Lower Extremity Muscle Strength After Anterior Cruciate Ligament Injury and Reconstruction. *J Athl Train.* 2013; 48: 610-20

Achtnich A, Beitzel K, Imhoff AB, Petersen W: Arthroskopische Refixation proximaler Ausrisse des vorderen Kreuzbandes. *Arthroskopie* 2018; 31: 207-10

Ahldén M, Samuelsson K, Sernert N, Forssblad M, Karlsson J, Kartus J. The Swedish National Anterior Cruciate Ligament Register: a report on baseline variables and outcomes of surgery for almost 18,000 patients. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 2230-5

Ahmad SS, Schreiner AJ, Hirschmann MT, Schröter S, Döbele S, Ahrend MD, Stöckle U, Ateschrang A.: Dynamic intraligamentary stabilization for ACL repair: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019, Jan; 27: 13-20

Amis AA, Dawkins GP. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Br.* 1991; 73: 260-7

Anderson AF, Snyder RB, Lipscomb AB Jr. Anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective randomized study of three surgical methods. *Am J Sports Med.* 2001; 29: 272-9

Andersson C, Odensten M, Gillquist J. Knee function after surgical or nonsurgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament: a randomized study with long-term follow-up period. *Clin Orthop Rel Res.* 1991; 264: 255-63

Arnoczky SP, Rubin RM, Marshall JL. Microvasculature of the cruciate ligaments and its response to injury. An experimental study in dogs. *J Bone Joint Surg Am.* 1979; 61: 1221-29

Arnoczky SP. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Clin Orthop Relat Res.* 1983; 172: 19-25

Ateschrang A, Ahrend MD, Stöckle U, Schröter S, Ahmad S. Dynamische intraligamentäre Stabilisierung des vorderen Kreuzbands. *Arthroskopie* 2018; 31: 211-

4

Babb JR, Ahn JI, Azar FM, Canale ST, Beaty JH. Transphyseal anterior cruciate ligament reconstruction using mesenchymal stemcells. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 1164-70

Baer GS, Harner CD. Clinical outcomes of allograft versus autograft in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2007; 26: 661-81

Ballantyne BT, French AK, Heimsoth SL, Kachingwe AF, Lee JB, Soderberg GL. Influence of examiner experience and gender on interrater reliability of KT-1000 measurements. *Phys Ther.* 1995; 75: 898-906

Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med.* 1989; 17: 1-6

Barrett AM, Craft JA, Replogle WH, Hydrick JM, Barrett GR. Anterior cruciate ligament graft failure: a comparison of graft type based on age and Tegner activity level. *Am J Sports Med.* 2011; 39: 2194-8

Bates D, Maechler M. (2010): *Matrix: Sparse and Dense Matrix Classes and Methods.* R package version 0.999375-46. <http://CRAN.Rproject.org/package=Matrix> URL <http://cran.r-project.org/doc/packages/Matrix.pdf>

Baums MH, Zelle BA, Schultz W, Ernstberger T, Klinger HM. Intraarticular migration of a broken biodegradable interference screw after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006; 14: 865-8

Benco, M, Tylla A, Stangl R. Dynamic intraligamentary stabilization of acute anterior femoral cruciate ligament rupture: Preliminary and intermediate clinical results. *Unfallchirurg* 2018, Oct 22

Beynon BD, Johnson RJ, Abate JA, Fleming BC, Nichols CE. Treatment of anterior cruciate ligament injuries, part I. *Am J Sports Med.* 2005; 33: 1579-602

Bonamo JJ, Fay C, Firestone T. The conservative treatment of the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med.* 1990; 18: 618-23

Briggs KK, Kocher MS, Rodkey WG, Steadman JR. Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee score and Tegner activity scale for patients with meniscal injury of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2006; 88: 698-705.

Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, Steadman JR. The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior

cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later. *Am J Sports Med.* 2009; 37: 890-7

Brunner E, Langer F. *Nichtparametrische Analyse longitudinaler Daten.* München: Oldenbourg-Verlag; 1999

Brunner E, Langer F. Nonparametric analysis of Ordered Categorical Data in Designs with Longitudinal Observations and Small Sample Sizes. *Biom J.* 2000; 42: 663-75

Bucher P, Pugin F, Ostermann S, Morel P. Patient's point of view on surgical innovations: for less traumatic surgery and enhanced recovery. *Rev Med Suisse.* 2010; 6: 1292-7

Buss DD, Min R, Skyhar M, Galinat B, Warren RF, Wieckewicz TL. Nonoperative treatment of acute anterior cruciate ligament injuries in a selected group of patients. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 160-5

Casteleyn PP, Handelberg F. Non-operative management of anterior cruciate ligament injuries in the general population. *J Bone Joint Surg Br.* 1996; 78: 446-51

Cha J, Choi SH, Kwon JW, Lee SH, Ahn JH. Analysis of cyclops lesions after different anterior cruciate ligament reconstructions: a comparison of the single-bundle and remnant bundle preservation techniques. *Skeletal Radiol.* 2012; 41: 997-1002

Ciccotti MG, Lombardo SJ, Nonweiler B, Pink M. Non-operative treatment of ruptures of the anterior cruciate ligament in middle-aged patients. Results after long-term follow-up. *J Bone Joint Surg Am.* 1994; 76: 1315-21

Clayton RA, Court-Brown CM. The epidemiology of musculoskeletal tendinous and ligamentous injuries. *Injury.* 2008; 39:1338-44

Cooper RR, Misol S. Tendon and ligament insertion. A light and electron microscopic study. *J Bone Joint Surg Am.* 1970; 52 1-20

Dawson AG, Hutchison JD, Sutherland AG. Is anterior cruciate reconstruction superior to conservative treatment? *J Knee Surg* 2014; 29: 74-9

De Loës M, Dahlstedt LJ, Thomée R. A 7-year study on risks and costs of knee injuries in male and female youth participants in 12 sports. *Scand J Med Sci Sports.* 2000; 10: 90-7

Delincé P, Ghafil D. Anterior cruciate ligament tears: conservative or surgical treatment? A critical review of the literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012; 20: 48-61

Development Core Team R. (o. J.): A language and environment for statistical computing. <http://www.R-project.org> (Zugriff am 01.02.2020)

DGU Leitlinie 012-005 Vordere Kreuzbandruptur.
<https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/012-005.html> (Zugriff am 18.02.2020)

Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Proprioception in anterior cruciate ligament deficient knees and its relevance to anterior cruciate ligament reconstruction. *Indian J Orthop.* 2011; 45: 294-300

Diekstall P, Rauhut F. Considerations for the indications for anterior cruciate ligament reconstruction. Results of conservative versus operative treatment. *Unfallchirurg.* 1999; 102: 173-81

Drogset JO, Grøntvedt T, Robak OR, Mølster A, Viset AT, Engebretsen L. A sixteen-year follow-up of three operative techniques for the treatment of acute ruptures of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 2006; 88: 944-52

DuMontier TA, Metcalf MH, Simonian PT, Larson RV. Patella fracture after anterior cruciate ligament reconstruction with the patellar tendon: a comparison between different shaped bone block excisions. *Am J Knee Surg.* 2001; 14: 9-15

Edgar CM, Zimmer S, Kakar S, Jones H, Schepsis AA. Prospective comparison of auto and allograft hamstring tendon constructs for ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res.* 2008; 466: 2238-46

Fink C, Genelin A, Benedetto KP, Hoser C, Sperner G. The treatment of fresh anterior cruciate ligament ruptures in relation to age and level of sports activity. *Schweiz Z Med Traumatol.* 1994; 1: 26-9

Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Hackl W, Gabl M. Langzeitergebnisse nach konservativer oder operativer Therapie der vorderen Kreuzbandruptur. *Unfallchirurg.* 1996; 99: 964-9

Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP. Long-term Outcome of Operative or Nonoperative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Rupture – Is Sports Activity a Determining Variable? *Int J Sports Med.* 2001; 22: 304-9

Frank CB, Jackson DW. The science of reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1997; 79: 1556-76

Fu FH, Bennett CH, Latterman C, Ma CB. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part 1: Biology and biomechanics of reconstruction. *Am J Sports Med.* 1999; 27: 821-30

Fu FH, Bennett CH, Ma CB, Menetrey J, Latterman C. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. Part II. Operative Procedures and clinical correlations. *Am J Sports Med.* 2000; 28: 124-30

Gianotti SM, Marshall SW, Hume PA, Bunt L. Incidence of anterior cruciate ligament injury and other knee ligament injuries: a national population-based study. *J Sci Med Sport.* 2009; 12: 622-7

Giove TP, Miller SJ 3rd, Kent BE, Sanford TL, Garrick JG. Non-operative treatment of the torn anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am.* 1983; 65: 184-92

Girgis FG, Marshall JL, Monjajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1975; 106: 216-31

Gulotta LV, Rodeo SA. Biology of autograft and allograft healing in anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med.* 2007; 26: 509-24

Hanten WP, Pace MB. Reliability of measuring anterior laxity of the knee joint using a knee ligament arthrometer. *Phys Ther.* 1987; 67: 357-9

Hefti FL, Kress A, Fasel J, Morscher EW. Healing of the transected anterior cruciate ligament in the rabbit. *J Bone Joint Surg Am.* 1991; 73: 373-83

Hettrich CM, Dunn WR, Reinke EK, MOON Group, Spindler KP. The Rate of Subsequent Surgery and Predictors After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Two- and 6-Year Follow-up Results From a Multicenter Cohort. *Am J Sports Med.* 2013; 41: 1534-40

Hinterwimmer S, Engelschalk M, Sauerland S, Eitel F, Mutschler W. Operative or conservative treatment of anterior cruciate rupture: a systematic review of literature. *Unfallchirurg.* 2003; 106: 374-9

Hu J, Qu J, Xu D, Zhang T, Zhou J, Lu H. Clinical outcomes of remnant preserving augmentation in anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014; 22: 1976-85

Ingersoll CD, Grindstaff TL, Pietrosimone BG, Hart JM. Neuromuscular consequences of anterior cruciate ligament injury. *Clin Sports Med.* 2008; 27: 383-404

- Ingram JG, Fields SK, Yard EE, Comstock RD. Epidemiology of knee injuries among boys and girls in US high school athletics. *Am J Sports Med.* 2008; 36: 1116-22
- Irisawa H, Takahashi M, Hosokawa T, Nagano A. Cyclops syndrome occurring after chronic partial rupture of the anterior cruciate ligament without surgical reconstruction, *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007; 15: 144-6
- Irrgang JJ, Ho H, Harner CD, Fu FH. Use of the International Knee Documentation Committee guidelines to assess outcome following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1998; 6: 107-14
- Jakob RP, Stäubli HU. *Kniegelenk und Kreuzbänder.* Berlin: Springer; 1990
- Jerosch J, Prymka M. Propriozeptive Fähigkeiten im Bereich des Kniegelenks bei Patienten nach vorderer Kreuzbandruptur. *Unfallchirurg.* 1996; 99: 861-8
- Johansson H, Sjölander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop Relat Res.* 1991; 268: 161-78
- Jokl P, Kaplan N, Stovell P, Keggi K. Non-operative treatment of severe injuries to the medial and anterior cruciate ligaments of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1984; 66: 741-4
- Jorjani J, Altmann D, Auen R, Koopmann C, Lyutenski B, Wirtz DC. Medium- to long-term follow-up after anterior cruciate ligament rupture and repair in healing response technique. *Z Orthop Unfall.* 2013; 151: 570-9
- Kannus P, Järvinen M. Conservatively treated tears of the anterior cruciate ligament. Long-term results. *J Bone Joint Surg Am.* 1987; 69: 1002-12
- Kapoor B, Clement DJ, Kirkley A, Maffulli N. Current practice in the management of anterior cruciate injuries in the United Kingdom. *Br J Sports Med.* 2004; 38: 542-4
- Koch M, Matteo DB, Eichhorn J, Zellner J, Mayer F, Krutsch W, Achenbach L, Woehl R, Nehrlich M, Angele P. Intra-ligamentary autologous conditioned plasma and healing response to treat partial ACL ruptures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2018; 138: 675-83
- Krause M, Freudenthaler F, Frosch KH, Achtnich A, Petersen W, Akoto R. Operative versus conservative treatment of anterior cruciate ligament rupture – a systematic review of functional improvement in adults. *Dtsch Arztebl Int* 2018; 115: 855-62
- Kustos T, Bálint L, Than P, Bárdos T. Comparative study of autograft or allograft in primary anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop.* 2004; 28: 290-3

Laxdal G, Kartus J, Ejerhed L, Sernert N, Magnusson L, Faxén E, Karlsson J. Outcome and risk factors after anterior cruciate ligament reconstruction: a follow-up study of 948 patients. *Arthroscopy*. 2005; 21: 958-64

Lee GH, McCulloch P, Cole BJ, Bush-Joseph CA, Bach BR Jr. The incidence of acute patellar tendon harvest complications for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2008; 24: 162-6

Lembeck B, Wülker N. Severe cartilage damage by broken poly-L-lactic acid (PLLA) interference screw after ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2005; 13: 283-6

Lind M, Menhert F, Pedersen AB. Incidence and outcome after revision anterior cruciate ligament reconstruction: results from the Danish registry for knee ligament reconstructions. *Am J Sports Med*. 2012; 40: 1551-7

Logerstedt D, Sennett BJ. Case series utilizing drop-out casting for the treatment of knee joint extension motion loss following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2007; 37: 404-11

Lyman S, Koulouvaris P, Sherman S, Do H, Mandl LA, Marx RG. Epidemiology of anterior cruciate reconstruction: trends, readmissions, and subsequent knee surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2009; 91: 2321-8

Magnussen RA, Taylor DC, Toth AP, Garrett WE. ACL graft failure location differs between allografts and autografts. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2012; 4: 22

Marx RG, Jones EC, Allen AA, Altchek DW, O'Brien SJ, Rodeo SA, et al. Reliability, validity, and responsiveness of four knee outcome scales for athletic patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2001; 83: 1459-69

Mascarenhas R, MacDonald PB. Anterior cruciate ligament reconstruction: a look at prosthetics -- past, present and possible future. *Mcgill J Med*. 2008; 11: 29-37

Mc Daniel WJ Jr, Dameron TB Jr. Untreated ruptures of the anterior cruciate ligament. A follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*. 1980; 62: 696-705

Mihelic R, Jurdana H, Jotanovic Z, Madjarevic T, Tudor A. Long-term results of anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison with non-operative treatment with a follow-up of 17-20 years. *Int Orthop*. 2011; 35: 1093-7

- Milankov M, Rasovic P, Kovacev N, Milovic M, Bojat V. Fracture of the patella after the anterior cruciate ligament reconstruction. *Med Pregl.* 2012; 65: 476-82
- Morgan JA, Dahm D, Levy B, Stuart MJ, MARS Study Group. Femoral tunnel malposition in ACL revision reconstruction. *J Knee Surg.* 2012; 25: 361-8
- Moyen B, Lerat LJ. Artificial ligaments for anterior cruciate replacement. A new generation of problems. *J Bone Joint Surg Br.* 1994; 76: 173-5
- Murray MM. Current status and potential of primary ACL repair. *Clin Sports Med.* 2009; 28: 51-61
- Noyes FR, Matthews DS, Mooar PA, Grood ES. The symptomatic anterior cruciate-deficient knee. Part II: the results of rehabilitation, activity modification, and counseling on functional disability. *J Bone Joint Surg Am.* 1983; 65: 163-74
- Noyes FR, Torvik PJ, Hyde WB, DeLucas JL. Biomechanics of ligament failure. II. An analysis of immobilization, exercise and reconditioning effects in primates. *J Bone Joint Surg Am.* 1974; 56: 1406-18
- Odensten M, Gillquist J. Functional anatomy of the anterior cruciate ligament and a rationale for reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 1985; 67: 257-62
- Pakkari J, Kannus P, Natri A, Lapinleimu I, Palvanen M, Heiskanen M, et al. Active living and injury risk. *Int J Sports Med.* 2004; 25: 209-16
- Pakkari J, Pasanen K, Mattila VM, Kannus P, Rimpelä A. The risk for a cruciate ligament injury of the knee in adolescents and young adults: a population-based cohort study of 46500 people with a 9 year follow-up. *Br J Sports Med.* 2008; 42: 422-6
- Pap G, Machner A, Nebelung W, Awiszus F. Detailed analysis of proprioception in normal and ACL-deficient Knees. *J Bone Joint Surg Br.* 1999; 81: 764-8
- Petersen W, Taheri P, Forkel P, Zantop T. Return to play following ACL reconstruction: a systematic review about strength deficits. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014; 134: 1417-28
- Petersen W, Tillmann B. Anatomie und Funktion des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 2002; 31: 710-18
- Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russel VJ, Roe J, Linklater J. A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring tendon and

patellar tendon autograft: a controlled prospective trial. *Am J Sports Med.* 2007; 35: 564-74

Piva SR, Childs JD, Klucinec BM, Irrgang JJ, Almeida GJ, Fitzgerald GK. Patella fracture during rehabilitation after bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction: 2 case reports. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009; 39: 278-86

Preiss A, Brodhun T, Stietencron I, Frosch KH. Rupture of the anterior cruciate ligament in growing children: surgical or conservative treatment? A systematic review. *Unfallchirurg.* 2012; 115: 848-54

Prodromos CC, Han Y, Rogowski J, Joyce B, Shi K. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sports and knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy.* 2007; 23: 1320-1325

Rahr-Wagner L, Thillemann TM, Pedersen AB, Lind MC. Increased risk for revision after anteromedial compared with transtibial drilling of the femoral tunnel during primary anterior cruciate ligament reconstruction: results from the Danish Knee Ligament Reconstruction Register. *Arthroscopy.* 2013; 29: 98-105

Rangger C, Daniel DM, Stone ML, Kaufman K. Diagnosis of an ACL disruption with KT-1000 Measurements. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1993; 1: 60-6

Reed-Jones RJ, Vallis LA. Proprioceptive deficits of the lower limb following anterior cruciate ligament deficiency affect whole body steering control. *Exp Brain Res.* 2007; 182: 249-60

Rodkey WG, Arnoczky SP, Steadman JR. Healing of a surgically created partial detachment of the posterior cruciate ligament using marrow stimulation: an experimental study in dogs. *J Knee Surg.* 2006; 19: 14-8

Sakane M, Fox RJ, Woo SL, Livesay GA, Li G, Fu FH. In situ forces in the anterior cruciate ligament and its bundles in response to anterior tibial loads. *J Orthop Res.* 1997; 15: 285-93

Sanders B, Rolf R, McClelland W, Xerogeanes J. Prevalence of saphenous nerve injury after autogenous hamstring harvest: an anatomic and clinical study of sartorial branch injury. *Arthroscopy.* 2007; 23: 956-63

Sarkar D. *Lattice: Multivariate Data Visualization with R.* New York: Springer; 2008

Smith TO, Postle K, Penny F, McNamara I, Mann CJ. Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. *Knee*. 2014; 21: 462-70

Solomonow M, Kroegsgaard M. Sensorimotor control of knee stability. A review. *Scand J Med Sci Sports*. 2001; 11: 64-80

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; 19: 8-13

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; 25: 255-60

Stucken C, Garras DN, Shaner JL, Cohen SB. Infections in anterior cruciate ligament reconstruction. *Sports Health*. 2013; 5: 553-7

Taketomi S, Inui H, Sanada T, Nakamura K, Yamagami R, Masuda H, Tanaka S, Nakagawa T. Remnant-preserving anterior cruciate ligament reconstruction using a three-dimensional fluoroscopic navigation system. *Knee Surg Relat Res*. 2014; 26: 168-76

Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N. Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double- tendon harvest. *Am J Sports Med*. 2003; 31: 522-9

Tay GH, Warriar SK, Marquis G. Indirect patella fractures following ACL reconstruction: a review. *Acta Orthop*. 2006; 77: 494-500

Tjoumakaris FP, Herz-Brown AL, Bowers AL, Sennett BJ, Bernstein J. Complications in brief: Anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*. 2012; 420: 630-6

Torg JS, Conrad W, Kalen V. Clinical diagnosis of anterior cruciate ligament instability in the athlete. *Am J Sports Med*. 1976; 4: 84-93

Venables WN, Ripley BD. *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. New York: Springer; 2002

Victor J, Bellemans J, Witvrouw E, Govaers K, Fabry G. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction--prospective analysis of patellar tendon autografts compared with allografts. *Int Orthop*. 1997; 21: 93-7

Wagner M, Schmeling A, Weiler A. Intraoperative Komplikationen beim VKB-Ersatz. *Arthroskopie*. 2006; 19: 129-41

Wang J, Ao Y. Analysis of different kinds of cyclops lesions with or without extension loss. *Arthroscopy*. 2009; 25: 626-31

Warth RJ, Briggs KK, Dornan GJ, Horan MP, Millett PJ. Patient expectations before arthroscopic shoulder surgery: correlation with patients' reasons for seeking treatment. *J Shoulder Elbow Surg*. 2013; 12: 1676-81

Wright RW, Gill CS, Chen L, Brophy RH, Matava MJ, Smith MV, et al. Outcome of revision anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. *J Bone Joint Surg Am*. 2012; 94: 531-6

Wright RW. Knee injury outcomes measures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2009; 17: 31-9

Zantop T, Petersen W, Sekiya JK, Muhsal V, Fu FH. Anterior cruciate ligament anatomy and functioning relating to anatomical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2006; 14: 982-92

9 Anhang

Frage-/Dokumentationsbögen

Patient's initials __ __	Patient No. [] [] [] []
Centre ID [] [] []	Date of visit [] [] [] [] [] [] d d m m y y
* M * W	Weight : __ Height : __

Healing Response Standard Evaluation

Surgery	
Trauma date [] [] [] [] [] []	Cause: _____
Surgery date [] [] [] [] [] []	
<u>Lesions:</u>	
<u>Left knee</u> * <u>Right knee</u> * KT-1000 L: __:__:__ mm KT-1000 R: __:__:__ mm	
* Anterolaterales Bündel	
* Posteromediales Bündel	
* 2/3 Ruptur	
* 1/2 Ruptur	
* 1/3 Ruptur	
Co-Lesions: _____	

<u>Procedures:</u>	
* MFX LFK	* IM Naht: _____ * IM Teilresektion
* MFX MFK	* AM Naht: _____ * AM Teilresektion
* MFX TRL	* MFX PTL
* Other: _____	

Visit No (Month)

Patient's initials __ __	Patient No. [] [] []
Centre ID [] []	Date of visit [] [] [] [] [] [] d d m m y y
Visit No. __ (Month __)	

Cartilage Standard Evaluation^[1]

Patients Form				
<u>Functional status</u>				
I: I can do everything that I want to do with my joint.				
II: I can do nearly everything that I want to do with my joint.				
III: I am restricted and a lot of things that I want to do with my joint are not possible.				
IV: I am very restricted and I can do almost nothing with my joint without severe pain and disability.				
	I	II	III	IV
Preinjury	*	*	*	*
Activity level pretreatment	*	*	*	*
Present activity level	*	*	*	*
Compared to your healthy contralateral knee your injured knee is worth				
I	II	III	IV	
90-100% *	71-90% *	41-70% *	0-40% *	
On the following scale mark the intensity of your knee pain:				
No pain	-----			Severe pain

Patient's initials _ _	Patient No. [] [] [] []
Centre ID [] []	Date of visit [] [] [] [] [] [] d d m m y y
Visit No. _ (Month _)	

Cartilage Standard Evaluation^[1]

Surgeons Form

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualific.			
	I Normal	II Nearly Normal	III Abnormal	IV Severe Abnormal	I	II	III	IV
Patient's Subjective Assessment ^[2] How does your knee function?	*	*	*	*	1. [] [] [] []			
Patient's Pain Assessment ^[2]	*	*	*	*	2. [] [] [] []			
Symptoms (absence of significant symptoms, at highest activity level) ^[4]	(3)	(3)	(3)	(3)				
Pain at activity level	I *	II *	III *	IV *				
Swelling at activity level	I *	II *	III *	IV *				
Giving way at activity level (catching, locking, giving away)	I *	II *	III *	IV *	3. [] [] [] []			
Starting pain	I *	II *	III *	IV *	[] [] [] []			
Range of Motion								
Flex /Ext documented site [] [] [] [] ^[5]	Flex / Ex opposite side [] [] [] []							
Lack of extension documented site (from zero anatomic)	< 3° *	3-5° *	6-10° *	> 10° *				
Lack of flexion	0-5° *	6-15° *	16-25° *	> 25° *	4. [] [] [] []			

Patient's initials _ _ _

Patient No. [] [] []

Centre ID [] []

Visit No. _ _ (Month _ _)

Surgeons Form (continuation)

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualific.			
	I Normal	II Nearly Normal	III Abnormal	IV Severe Abnormal	I	II	III	IV
Ligament Examination								
Δ Lachman (in 25° flex) [mm]	-1 to 2 *	3 to 5 *	6 to 10 *	> 10 *				
(alternative measurement, optional)	-1 to 2 *	-1 to -3 *	< -3 *	> 10 *				
Endpoint anterior. firm * soft *	Endpoint post. firm * soft * ⁽⁷⁾							
⁽⁶⁾ Δ Total a.p. transl. in 70° flex	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ Δ Total a.p. transl. in 25° flex	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ Δ post. sag in 70° Flex (post sag view)	0 to 2 *	3 to 5 *	6 to 10 *	> 10 *				
⁽⁶⁾ med. joint opening (Valgus rotation)	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ lat. joint opening (Varus rotation)	neg. *	+ *	++ *	+++ *				
Pivot shift ⁽⁸⁾	eq. pos. *	slight *	marked *	gross *	5.			
⁽⁶⁾ Reversed pivot shift equal neg. *								
Compartmental Finding Documented Site ⁽⁹⁾								
Crepitus patellofemoral	none/eq. *	*	*	*				
Crepitus medial compartmental	none *	moderate *	painful *	severe *				
Crepitus lateral compartmental	*	*	*	*				
Harvest Site Pathology Documented Site								
Tenderness, irritation, numbness ipsilateral	none *	slight *	moderate *	severe *				
Controlateral donor site	yes *	no *						
Tenderness, irritation, numbness controlateral	none *	slight *	moderate *	severe *				
Functional Test ⁽¹¹⁾								
One leg hop (% of opposite side)	90-100 *	76-90 *	50-75 *	< 50 *				

Patient's initials ____	Patient No. [] [] []
Centre ID [] []	Visit No. __ (Month __)

Score/Meyers et al.

Rate the patient according to the following scale:

Pain	Severe; not relieved by rest and analgetics.....	1 *
	Severe; relieved by rest and analgetics.....	2 *
	Moderate; regular analgetics needed.....	3 *
	Mild; occasional analgetics needed.....	4 *
	Minimum; occasional ache.....	5 *
	None.....	6 *
Function	Bedridden or household walker with two canes or crutches.....	1 *
	Time and distance outside limited; walks with canes or crutches.....	2 *
	Walks more than 0,8 km with external aids, going up and down stairs limited.....	3 *
	Walks more than 0,8 km with or without external aids, going up and down stairs not limited.....	4 *
	No canes; limps.....	5 *
	Unlimited walking without a limp	6 *
Range of Motion	< 60° of flexion.....	1 *
	15° to 90° of flexion.....	2 *
	0 to 90°.....	3 *
	> 90° of flexion; ≤ 15° extension lag.....	4 *
	> 90° of flexion; without extension lag.....	5 *
	≥ 130° of flexion without extension lag.....	6 *

Scale Description:	Poor:	< 12 *
	Fair:	12-15 *
	Good:	15-17 *
	Excellent:	18 *

Patient's initials _ _ _	Patient No. [] [] []
Centre ID [] []	Visit No. _ (Month _)

Score/Tegner and Lysholm

Rate the patient according to the following scale:

Sick leave or disability pension because of knee problems	0 *
Work: sedentary work Walking on even ground possible	1 *
Work: light labor Walking on uneven ground possible but impossible to walk in forest	2 *
Work: light labor (e.g., nursing) Competitive and recreational sports: swimming Walking in forest possible	3 *
Work: moderately heavy labor (e.g., truck driving, heavy domestic work) Recreational sports: cycling, cross-country skiing, jogging on even ground at least twice weekly	4 *
Work: heavy labor work (e.g., building, forestry) Competitive sports: cycling, cross-country skiing Recreational sports: jogging on uneven ground at least twice weekly	5 *
Recreational sports: tennis and badminton, handball, basketball, downhill skiing, jogging, at least five times per week	6 *
Competitive sports: tennis, athletics (running), motorcross, speedway, handball, basketball Recreational sports: soccer, bandy and ice hockey, squash, athletics (jumping) Cross-country track findings both recreational and competitive	7 *
Competitive sports: bandy, squash or badminton, athletics (jumping, etc.), downhill skiing	8 *
Competitive sports: soccer, lower divisions, ice hockey, wrestling, gymnastics	9 *
Competitive sports: soccer – national and international elite	10 *

Patient's initials ___	Patient No. [] [] []
Centre ID [] []	
Visit No. ___ (Month ___)	

Score/Lysholm and Gillquist

Limp (5 points)	Severe or constant.....	0 *
	Slight or periodical.....	3 *
	None.....	5 *
Support (5 points)	Weight-bearing impossible.....	0 *
	Stick or crutch.....	3 *
	Full support.....	5 *
Stair-Climbing (10 points)	Unable.....	0 *
	One step at a time.....	2 *
	Slightly impaired.....	6 *
	No problems.....	10 *
Squatting (5 points)	Unable.....	0 *
	Not past 90°.....	2 *
	Slightly impaired.....	4 *
	No problems.....	5 *
Instability (30 points)	Every step.....	0 *
	Often in daily activities.....	5 *
	Occasionally in daily activities.....	10 *
	Frequently during athletics or other severe exertion (or unable to participate).....	20 *
	Rarely during athletics or other severe exertion.....	25 *
	Never giving way.....	30 *
Pain (30 points)	Constant and severe.....	0 *
	Marked on or after walking less than 2 km	5 *
	Marked on or after walking more than 2 km.....	10 *
	Marked during severe exertion.....	15 *
	Marked on giving way.....	20 *
	Inconstant and slight during severe exertion	25 *
	None.....	30 *
Swelling (10 points)	Constant.....	0 *
	On ordinary exertion.....	2 *
	On severe exertion.....	5 *
	With giving way.....	7 *
	None.....	10 *
Atrophy of thigh (5 points)	More than 2 cm.....	0 *
	1-2 cm.....	3 *
	None.....	5 *

Patient's initials ___	Patient No. [] [] [] []
Centre ID [] []	Visit No. ___ (Month ___)

Cartilage Standard Evaluation^[1]				
Surgeons Form				
Morphotype				
lax *	normal *	tight *	varus *	valgus *
Impaired knee	left *	right *		
Meniscal status				
Lateral	norm *	1/3 removed *	2/3 removed *	3/3 removed *
medial	norm *	1/3 removed *	2/3 removed *	3/3 removed *

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualific.			
	I Normal	II Nearly Normal	III Abnormal	IV Severe Abnormal	I	II	III	IV
Patient's Subjective Assessment ^[2] How does your knee function?	*	*	*	*	1. [] [] [] []			
Patient's Pain Assessment ^[2]	*	*	*	*	2. [] [] [] []			
Symptoms (absence of significant symptoms, at highest activity level)^[4]								
	(3)	(3)	(3)	(3)				
Pain at activity level	I *	II *	III *	IV *				
Swelling at activity level	I *	II *	III *	IV *				
Giving way at activity level (catching, locking, giving away)	I *	II *	III *	IV *	3. [] [] [] []			
Starting pain	I *	II *	III *	IV *				
Range of Motion								
Flex /Ext documented site [] [] [] [] ^[5]	Flex / Ex opposite side [] [] [] []							
Lack of extension documented site (from zero anatomic)	< 3° *	3-5° *	6-10° *	> 10° *				
Lack of flexion	0-5° *	6-15° *	16-25° *	> 25° *	4. [] [] [] []			

Visit No. ___ (Month ___)

Patient's initials __ __	Patient No. [] [] []
Centre ID [] []	Visit No. __ (Month __)

Surgeons Form (continuation)

Groups (problem areas)	Qualification within groups				Group Qualific.			
	I Normal	II Nearly Normal	III Abnormal	IV Severe Abnormal	I	II	III	IV
Ligament Examination								
Δ Lachman (in 25° flex) [mm]	-1 to 2 *	3 to 5 *	6 to 10 *	> 10 *				
(alternative measurement, optional)	-1 to 2 *	-1 to -3 *	< -3 *	> 10 *				
Endpoint anterior. firm * soft *	Endpoint post. firm * soft * ⁽⁷⁾							
⁽⁶⁾ Δ Total a.p. transl. in 70° flex	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ Δ Total a.p. transl. in 25° flex	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ Δ post. sag in 70° Flex (post sag view)	0 to 2 *	3 to 5 *	6 to 10 *	> 10 *				
⁽⁶⁾ med. joint opening (Valgus rotation)	*	*	*	*				
⁽⁶⁾ lat. joint opening (Varus rotation)	neg. *	+ *	++ *	+++ *				
Pivot shift ⁽⁸⁾	eq. pos. *	slight *	marked *	gross *	5.			
⁽⁶⁾ Reversed pivot shift equal neg. *								
Compartmental Finding Documented Site ⁽⁹⁾								
Crepitus patellofemoral	none/eq. *	*	*	*				
Crepitus medial compartmental	none *	moderate *	painful *	severe *				
Crepitus lateral compartmental	*	*	*	*				
Harvest Site Pathology Documented Site								
Tenderness, irritation, numbness ipsilateral	none *	slight *	moderate *	severe *				
Controlateral donor site	yes *	no *						
Tenderness, irritation, numbness controlateral	none *	slight *	moderate *	severe *				
Functional Test⁽¹¹⁾								
One leg hop (% of opposite side)	90-100 *	76-90 *	50-75 *	< 50 *				

Visit No. (Month)

Publikationsverzeichnis

1. „Arthroscopic Primary Repair of Fresh Partial ACL Tears” – Erhan Basad, Leo Spor, Bernd Ishaque, Henning Stürz; Erschienen in “Sport Injuries” Springer 2012; doi 10.1007/978-3-642-15630-4
2. Ergebnisse mit der Healing Response Operation bei frischen vorderen Kreuzbandverletzungen; Leo Spor, Basad, E., Ishaque B.; Vortrag auf der 60. Jahrestagung der Norddeutschen Orthopäden- und Unfallchirurgenvereinigung e.V. am 16.06.2011 – Beitrag 05.04

Ehrenwörtliche Erklärung zur Dissertation

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, oder habe diese nachstehend spezifiziert. Die vorgelegte Arbeit wurde weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort, Datum

Unterschrift