

**Mittel- bis langfristige Ergebnisse nach vorderer Kreuzbandruptur und
Versorgung in Healing Response Technik**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Jafar Jorjani
aus Shiraz/Iran

2014

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Clayton Kraft

Tag der Mündlichen Prüfung: 07.02.2014

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des Universitätsklinikums Bonn

Direktor: Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz

in Kooperation mit

der Abteilung für Chirurgie des Franziskus Krankenhauses Linz am Rhein

Direktor: Dr. med. Dieter Altmann

Gewidmet ist diese Arbeit meinem viel zu früh verstorbenen Vater und meiner lieben Mutter, die mich immer bei all meinen Zielen unermüdlich unterstützt und an mich geglaubt haben.

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis	7
1. Einleitung	8
1.1 Die Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur	8
1.2 Die Anatomie des vorderen Kreuzbandes	9
1.3 Die biomechanische Funktion des vorderen Kreuzbandes	11
1.4 Ursachen der vorderen Kreuzbandruptur	12
1.5 Konservative Behandlungskonzepte	13
1.6 Operative Behandlungskonzepte	14
1.6.1 Die Healing Response Technik	16
1.7 Behandlungsstandard im Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein	18
1.8 Hypothese der Studie	20
2. Material und Methoden	22
2.1 Studiendesign, Kollektivzusammensetzung und Messinstrumente	22
2.1.1 KT-1000™ Arthrometer	24
2.1.2 Lysholm-Score	26
2.1.3 Tegner-Aktivitäts-Score	27
2.1.4 IKDC 2000 Evaluationsbogen	28
2.1.5 Spezieller Fragebogen zur subjektiven Zustandsbeurteilung	29
2.2 Patientenselektion	30
2.3 Operationstechnik der Healing Response	32
2.4 Postoperative Rehabilitation	35
2.5 Statistische Methoden	36
3. Ergebnisse	37
3.1 Retrospektives Outcome aller 126 Healing Response Patienten	37
3.2 Ergebnisse der 43 klinisch nachuntersuchten Healing Response Patienten mindestens 5 Jahre nach Operation	41
3.2.1 Ergebnisse des Lysholm-Score	42
3.2.2 Ergebnisse des Tegner-Aktivitäts-Score	45
3.2.3 Ergebnisse des IKDC 2000 Evaluationsbogens	46
3.2.3.1 Gesamtergebnisse des IKDC 2000 Evaluationsbogen	46

3.2.3.2	Hauptgruppe A- Erguss	46
3.2.3.3	Hauptgruppe B- Aktive und passive Bewegungsausmaße der Knie	46
3.2.3.4	Hauptgruppe C- Ligamentuntersuchung	47
3.2.4	Ergebnisse der KT-1000™ Arthrometer Messung	48
3.2.5	Spezieller Fragebogen zur subjektiven Zustandsbeurteilung	48
3.2.5.1	Schäden im Bereich des kontralateralen Knies	48
3.2.5.2	Sensibilitätsdefizite	49
3.2.5.3	Unsachgemäße Belastung während der Rehabilitationsphase	49
3.2.5.4	Mögliche Probleme bei Alltagsaktivitäten	50
3.2.5.5	Aktuelle und prätraumatische Kniefunktion	51
3.2.5.6	Gesamtbeurteilung der Behandlung	53
4.	Diskussion	54
4.1	Literatúrauswahl	54
4.2	Diskussion und Vergleich der Studienergebnisse	55
4.3	Limitierungen	63
4.4	Schlussfolgerung	63
4.5	Ausblick	64
5.	Zusammenfassung	65
6.	Anhang	67
6.1	Tabellenverzeichnis	74
6.2	Diagrammverzeichnis	76
6.3	Abbildungsverzeichnis	78
7.	Literaturverzeichnis	80
8.	Danksagung	92

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AM	Anteromediales
AMIC	Autologe matrixinduzierte Chondrogenese
HR	Healing Response
IKDC	International Knee Documentation Committee
KB	Konservativ behandelt
MSCs	Mesenchymal stem cells
MACT	Matrix gestützte autologe Chondrozyten Transplantation
N	Newton (= 1 kg·m/s ²)
OATS	Osteochondrales autologes Transplantationssystem
PRP	Collagen-platelet-rich-plasma
PBTB	Patella-bone-tendon-bone
PM	Posteromediales
Tab.	Tabelle
VKB	Vordere Kreuzbandruptur

1. Einleitung

1.1 Die Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur

Die gesteigerte Intensität bei Ausübung vieler Breitensportarten in allen Altersklassen (Csintalan et al., 2008), das Auftreten von neuen Fun- und Risikosportarten und der stetig steigende Frauenanteil in vielen Sportarten haben in den letzten Jahren zu einer steigenden Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur geführt (Siegel et al., 2012; Wild et al., 2012). Moderne, sensitive apparative Diagnostik wie das MRT und neuere arthroskopische Techniken begünstigen eine zunehmende Anzahl primärer und sekundärer Versorgungen (Eberhardt et al., 2002, Crawford et al., 2007). Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (VKB) stellt die häufigste Bandverletzung des menschlichen Kniegelenks dar (Bollen et al., 2000). Die Inzidenz der vorderen Kreuzbandruptur wird in Mitteleuropa und den USA mit bis zu 0,5 bis 1 pro 1000 Einwohner angegeben (Kohn und Rupp, 2002). In Deutschland werden laut statistischem Bundesamt ca. 100.000 Fälle pro Jahr angegeben. Das Risiko, eine Läsion des vorderen Kreuzbandes zu erleiden, liegt ca. 10 mal höher als beim hinteren Kreuzband (Südkamp und Weiler, 2004). Ca. 70-80 % aller Kreuzbandrupturen sind komplett. Partialrupturen erfolgen in ca. 20-30 % aller Fälle. Häufigste Rupturlokalisierung ist das mittlere Drittel des vorderen Kreuzbandes, gefolgt von Rupturen am femoralen und tibialen Ansatz (Ng et al., 2011; Tjoumakaris et al., 2011).

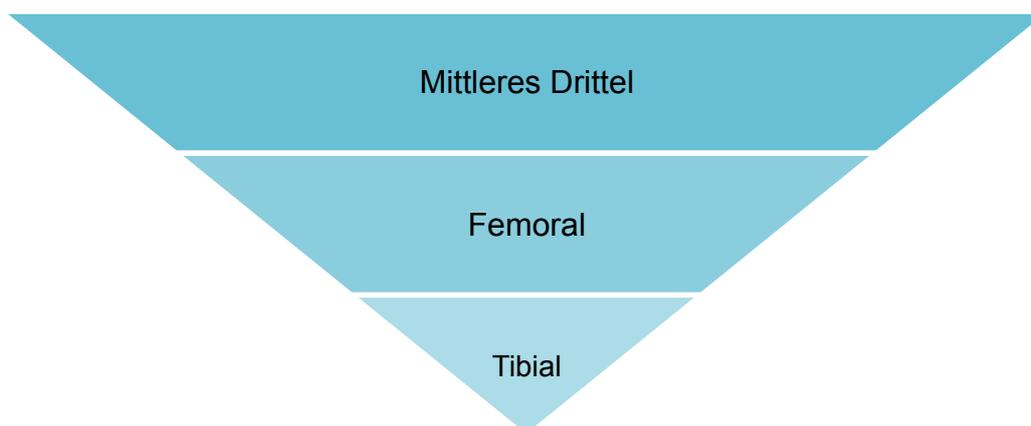


Diagramm 1: Traumatische Rupturlokalisierungen des vorderen Kreuzbandes in absteigender Reihenfolge (von oben nach unten).

1.2 Die Anatomie des vorderen Kreuzbandes

Das vordere Kreuzband hat seinen Ursprung an der dorsalen Innenfläche des lateralen Femurkondylus. Es zieht schräg durch die Fossa intercondylaris und inseriert breitflächig im Bereich der Eminentia intercondylaris. Es werden zwei funktional verschiedene Bündel unterschieden (Fuss, 1989):

1. Ein anteromediales (AM), 38 mm langes "Führungsbündel", das sich überwiegend bei zunehmender Flexion anspannt.
2. Ein posterolaterales (PL), 20 mm langes "Sicherungsbündel", das sich bei endgradiger Extension anspannt.

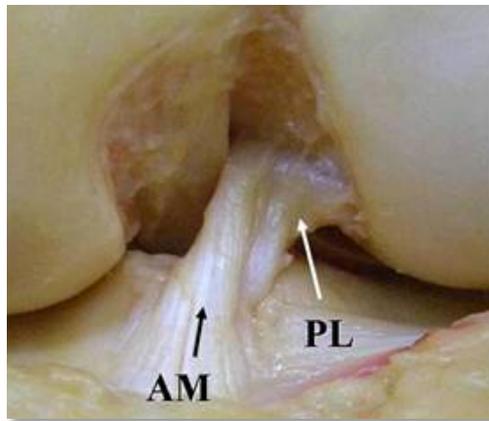


Abb. 1: Darstellung des anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels des vorderen Kreuzbandes

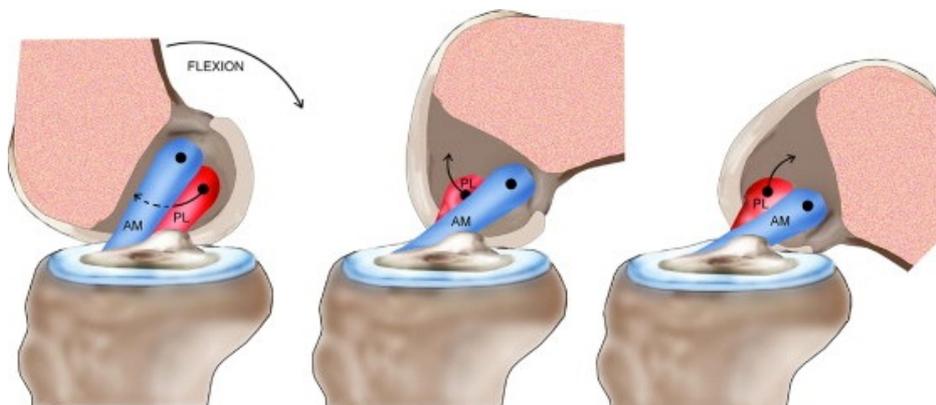


Abb. 2: Darstellung der Spannungszustände des anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels in Extension und Flexion (Sonnery-Cottet und Chambat, 2007)

Der femorale Kreuzbandansatz hat eine semilunare Form mit einem Längsdurchmesser von ca. 18 mm und einem Querdurchmesser von ca. 11 mm (Petersen und Zantop, 2009). Auf der Vorderseite ist das vordere Kreuzband mit einer Synovialschicht bedeckt. Die Blutversorgung erfolgt durch Äste der A. media genus und die Innervation durch Äste des N. tibialis (Tillmann, 2010a).

Im Bereich von femoraler und tibialer Kreuzbandinsertion befinden sich subsynovial zahlreiche, für die Propriozeption (Dhillon et al., 2011; 2012) des Kniegelenks zuständige, Mechanorezeptoren (Johansson et al., 1991 (a); Schutte et al., 1987; Zimny et al., 1986).

Es wurden folgende Rezeptoren beschrieben:

1. Vater-Pacini-Körperchen (weißer Pfeil Abb.3): für die schnelle Adaptierung einwirkender Kräfte.
2. Ruffini-Körperchen (schwarzer Pfeil Abb.3): für die langsame Adaptierung einwirkender Kräfte.
3. Freie Nervenendigungen für die Nozizeption

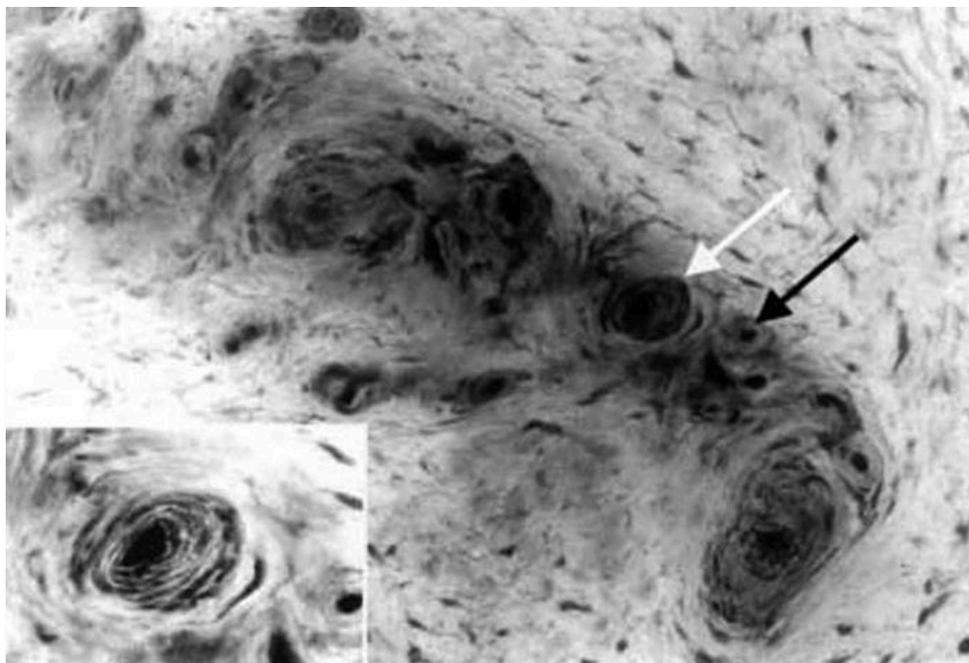


Abb. 3: Mechanorezeptoren des Kniegelenkes; weißer Pfeil: Vater-Pacini-Körperchen; schwarzer Pfeil: Ruffini-Körperchen) (Georgoulis et al., 2001)

In diversen Studien (Barrack et al., 1989; Dhillon et al., 2012, Grigg et al., 1977; Johansson et al., 1991) wurde gezeigt, dass die Mechanorezeptoren des Kniegelenks Bestandteil von polysynaptischen Reflexen sind, die eine kontinuierliche, unbewusste Stabilisierung des Kniegelenks bewirken. Kapreli et al. zeigten 2012 in MRT Untersuchungen, dass Patienten mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes zentralnervöse Reorganisationsvorgänge zeigen und die Verletzung im Umkehrschluss nicht nur als eine muskuloskeletale Störung, sondern vielmehr auch als eine neurophysiologische Dysfunktion behandelt werden muss. In der Kreuzbandchirurgie wird in den letzten Jahren zunehmend versucht, bei der Resektion des vorderen Kreuzbandes die Stümpfe als Reinnervationsquelle von eingebrachten, autologen Transplantaten zu belassen (Georgoulis AD et al., 2001; Muneta et al., 2013). In Tierversuchen zeigten sich hierzu histologisch gute Ergebnisse in Bezug auf Reinnervation, Revaskularisation und Ligamentation (Xie et al., 2012). Diese waren beim Menschen bisher nicht äquivalent reproduzierbar (Scheffler et al., 2008).

1.3 Die biomechanische Funktion des vorderen Kreuzbandes

Das vordere Kreuzband bildet zusammen mit dem hinteren Kreuzband die Zentralpfeiler des Kniegelenks und ist der primäre Stabilisator des Kniegelenks zur Verhinderung der anterioren, tibialen Translation und übermäßigen Innenrotation (Tillmann, 2010b). Die Bewegung des Kniegelenks besteht aus einer Kombination von komplexen Translations- und Rotationsbewegungen, die abhängig sind von Flexionsgrad des Knies, muskulärer und ligamentärer Stabilisierung und Position und Spannung der Kreuzbänder. Durch ein fehlendes, vorderes Kreuzband kommt es zu ausgeprägten biomechanischen Störungen des Kniegelenks (Tanaka et al., 2013, Boeth et al., 2013) mit subjektivem Instabilitätsgefühl für den Patienten (Giving-Way-Phänomen). Waite et al. zeigten 2005 bei kreuzbandinsuffizienten Patienten während kinematischen Messungen des Gehens und Laufens erhebliche Defizite bei der coronaren Translation und Rotation des Kniegelenks im Seitenvergleich. Selbst nach Kreuzbandrekonstruktion mit einem autologen Transplantat zeigen sich noch erhebliche, negative biomechanische Defizite im Vergleich zu physiologisch "gesunden" Knien (Imhauser et al., 2013).

1.4 Ursachen der vorderen Kreuzbandruptur

Selten entstehen Verletzungen des vorderen Kreuzbandes aus direkten Traumen heraus. Die meisten Läsionen des VKB entstehen ohne Fremdwirkung bei Sportarten, die schnelle Richtungswechsel voraussetzen ("high-risk-pivoting" Sportarten) wie Fußball, American Football, Volleyball, Tennis, Ski-Alpin oder Basketball (Magnussen et al., 2010). Der klassische Unfallmechanismus für eine vordere Kreuzbandruptur ist das Valgus-Außenrotationstrauma bei fixiertem Unterschenkel und leichter Knieflexion (Koga et al., 2010; Senter und Hame, 2006). Weitere Verletzungsmechanismen sind das Hyperextensions-Innenrotationstrauma, das Hyperflexions-Außenrotationstrauma, ausgeprägte Valgus/Varus Belastungen und übermäßige Anspannungen des M. Quadrizeps femoris.

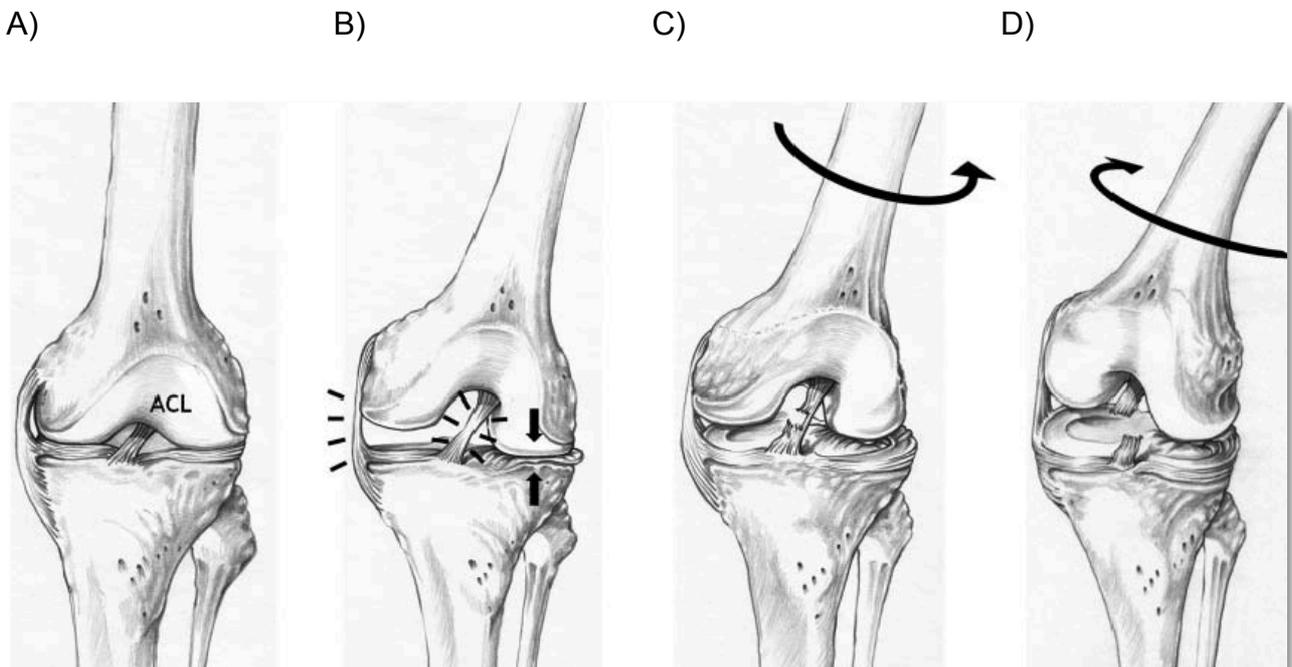


Abb. 4: Schematische Darstellung des Valgus-Außenrotationstraumas des vorderen Kreuzbandes (Koga et al., 2010)

- A) Normalkonfiguration des Kniees ohne Belastung.
- B) Valgusstress und laterale Kompression führen zur Vordehnung von medialem Kollateralband und vorderem Kreuzband.
- C) Die Vordehnung der Bänder und ein anteriorer Kraftvektor durch Quadrizepskontraktion führen bei fixiertem Unterschenkel zu einer femorotibialen

Translation. Die laterale Femurkondyle gleitet nach hinten, während sich die gesamte Tibia leicht nach vorne bewegt und nach innen rotiert. Das vordere Kreuzband reißt.

- D) Nach dem Riß des vorderen Kreuzbandes gibt es keinen vorderen Widerstand mehr. Nun gleitet auch die mediale Femurkondyle nach hinten. Die Tibia rotiert nach außen.

Oben abgebildeter, "klassischer" Unfallmechanismus ist auch der Grund für die sogenannte "Unhappy Triad". Bei dieser Kombinationsverletzung sind mediales Seitenband, medialer Meniskus und vorderes Kreuzband beteiligt.

Begünstigende Faktoren einer vorderen Kreuzbandläsion sind muskuläre und propriozeptive Defizite (Fridén et al., 2001), neuromuskuläre Ermüdungserscheinungen (Lipps et al., 2013), vorherige Läsionen des ipsi- oder kontralateralen Kreuzbandes (Swärd et al., 2010; Walden et al., 2006), weibliches Geschlecht (Wild et al., 2010), Oberflächenbelag der Sportart und verwendetes Schuhwerk (Dowling et al., 2010; Olsen et al., 2003, Pasanen et al., 2008).

1.5 Konservative Behandlungskonzepte

Die Indikation für eine konservative Therapie durch Physiotherapie, Propriozeptionstraining, Stärkung der muskulären Führung, Reduktion der sportlichen Aktivität und Tragen von Schienen bei vorderen Kreuzbandrupturen ist sehr streng zu stellen, da es bei Fehlen des VKB und konsekutiver fehlender, anteriorer Führung des Kniegelenks bei jedem Schritt zu unkoordinierten Rotations- und Gleitbewegungen kommen kann, die mittelfristig Knorpel- und Meniskusschädigungen bewirken können. Langfristig kann dies zu arthrotischen Veränderungen des Kniegelenks führen (Mihelic et al., 2011; Hinterwimmer et al., 2003; Strehl et al., 2007). Das hat nicht nur mechanische Gründe. Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes führt nicht nur zu einer mechanischen Destabilisierung des Kniegelenks, sondern durch eine signifikante Minderung der Propriozeptoren auch zu einer funktionellen Instabilität (Dhillon et al., 2011, 2012). Das bedeutet nicht, dass eine operative Therapie im Sinne einer autologen Kreuzbandplastik zwangsläufig zu einer wesentlichen Reduktion des Arthroserisikos führt (Leiter et al., 2013). Bis heute zeigen einige Studien keine signifikanten Unterschiede bezüglich des

Arthroserisikos bei der konservativen Therapie verglichen mit einer operativen Versorgung durch eine autologe Kreuzbandplastik (Delincé et al., 2011; Streich et al., 2010). Das Muster der Begleitverletzungen, Patientenalter, sportlicher Aktivitätsgrad und individueller Patientenwunsch müssen bei der gemeinsamen Therapiestrategiewahl zwischen Arzt und Patient berücksichtigt werden.

1.6 Operative Behandlungskonzepte

Obwohl die Anwesenheit von Stammzellen sowohl im vorderen Kreuzband, als auch im femoralen Kreuzbandansatz beschrieben worden ist (Matsumoto et al., 2012, Mifune et al., 2012, Steinert et al., 2011), zeigte das rupturierte VKB in den meisten Studien nur ein geringes Selbstheilungspotential bei konservativer Therapie (Murray et al., 2009; Frosch et al., 2012). In der Vergangenheit erfolgten diverse, operative Therapieansätze. Primäre, vordere Kreuzbandreparaturversuche durch z.B. Primärnaht oder Augmentierung zeigten zwar kurzfristig gute Ergebnisse (Grøntvedt et al., 1996; Kdolsky et al., 1993), doch in den Langzeitergebnissen ein schlechtes Outcome (Kaplan et al., 1990; Kdolsky et al., 1993; Sherman et al., 1988) und waren rekonstruktiven Maßnahmen deutlich unterlegen (Seiler et al., 1993).

Der Kreuzbandersatz mit einem autologen Transplantat ist seit Jahren die allgemein anerkannte Therapie dieser Verletzung (Duquin et al., 2009; Mihelic et al., 2011; Reinhardt et al., 2010) und zeigt gute bis sehr gute klinische Ergebnisse (Ahn et al., 2012; Bourke et al., 2012; Janssen et al., 2013; Mihelic et al., 2011).

Bei der Transplantatwahl werden vorwiegend Hamstring- und Patellasehnen-transplantate verwendet, mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen. Bei der Transplantatwahl gibt es bis heute kontroverse Diskussionen darüber, welche Sehne bei der Rekonstruktion präferiert werden soll. Viele Studien zeigen gleichwertige Ergebnisse zwischen Hamstring- und Patellasehnen-transplantaten (Holm et al., 2010; Taylor et al., 2009). Das native, vordere Kreuzband eines jungen Menschen zeigt eine maximale Zugbelastung von ca. 2000 Newton bevor es reißt. Die maximale Zugbelastung eines Quadruple-Hamstringsehnen-transplantats liegt bei etwa 4000 Newton (Woo et al., 2006) und die eines 10 mm breiten Patellasehnen-transplantats bei etwa 1800 Newton (Woo et al., 2006).

Die Vorteile von Hamstringsehnen-transplantaten liegen unter anderem bei der

geringeren Entnahmemorbidität und geringeren, postoperativen Knieschmerzen gegenüber der Patellasehnenentnahme (Poolman et al., 2007; Wipfler et al., 2011). Weiterhin zeigen Hamstringsehnentransplantate eine größere Reißfestigkeit, eine größere Elastizität und die Möglichkeit der mehrbündeligen Gelenkfixation (Kyung et al., 2013), die es ermöglicht, das vordere Kreuzband kinetisch möglichst "anatomienah" zu rekonstruieren.

Die Nachteile liegen in der Schwächung der Knieflexion nach der Hamstringsehnenentnahme (Ageberg et al., 2009; Kim et al., 2011), der längeren Einheilungszeit gegenüber eines Patellasehnentransplantats und einer möglichen, postoperativen Aufweitung der Bohrkanäle bei gelenkferner Fixation durch zum Beispiel Endobuttons (Fauno et al., 2005).

Das Patellasehnentransplantat zeigt eine ähnliche Reißfestigkeit wie das native Kreuzband, ist aber dabei deutlich steifer. Die Reißfestigkeit hängt stark vom Durchmesser des Transplantats ab. Der Vorteil eines Patellasehnentransplantats liegt in der schnelleren Einheilung in die Bohrkanäle durch die spongiösen Knochenblöcke (West und Harner, 2005). Die Nachteile liegen in der größeren Entnahmemorbidität durch Entnahme von Knochenblöcken aus Patella und Tibia mit der Gefahr von Patellafrakturen (Lee et al., 2008; Vidal et al., 2012), ausgeprägten, sensorischen Defiziten (Kartus et al., 2001), postoperativen, anterioren Knieschmerzen (Kartus et al., 1999) und der möglichen Schwächung des Streckapparats (Lautamies et al., 2008). Wie oben beschrieben können autologe Transplante, in Bezug auf die Reißfestigkeit, das native Kreuzband durchaus ersetzen und dem Knie bei adäquater Operationstechnik wieder eine mechanisch stabile, anteriore Führung geben. Biologisch sind sie kein optimaler Ersatz, da sie beim Menschen ein nur geringes Remodellingpotential (Scheffler et al., 2008) aufweisen und die propriozeptiven Eigenschaften des nativen Kreuzbandes nicht adäquat ersetzt werden können.

1.6.1 Die Healing Response Technik

Doch nicht jede proximale Ruptur des VKB muss mit einer autologen Kreuzbandplastik versorgt werden. Steadman und Mitarbeiter haben erstmals 2002 Ergebnisse über die Healing Response (HR) Technik veröffentlicht und im Rahmen weiterer Studien sowohl gute Ergebnisse bei nicht ausgewachsenen, als auch bei Patienten höheren Alters in selektierten Kollektiven gezeigt (Steadman et al., 2006, 2012). Die Healing Response Technik ist eine rein arthroskopische, biologische Therapiemethode bei akuten, femuransatznahen Partial- und Totalrupturen. Im Synovialbereich des vorderen Kreuzbandes und im Bereich der ursprünglichen femoralen Insertion (sog. Footprint) werden nach dem Prinzip der Mikrofrakturierung (Steadman et al., 2001, 2003) Knochenperforationen gesetzt, die den Austritt von pluripotenten Stammzellen und Wachstumsfaktoren bewirken (Abb.7).



Abb. 5: MRT Sagittalschnitt einer frischen, proximalen vorderen Kreuzbandruptur (weißer Pfeil)



Abb. 6: MRT Sagittalschnitt 2 Monate nach erfolgreicher Healing Response Operation. Der weiße Pfeil markiert das vollständig eingewachsene, vordere Kreuzband

Das VKB wird anschließend unter Streckung des Kniegelenks an seinen Ursprung reponiert. Nach sechs Wochen der Ruhigstellung in voller Extensionsstellung mit Hilfe einer Schiene kann das VKB unter Erhalt der propriozeptiven Strukturen (Dhillon et al., 2011, 2012) an seinen femoralen Ansatz einheilen. Speziell im Erhalt der histologisch nachgewiesenen propriozeptiven Strukturen (Schutte et al., 1987; Zimny et al., 1986)

des Kreuzbandes und der damit verbundenen Muskeleigenreflexe (Barrack et al., 1989; Grigg et al., 1977; Johansson et al., 1991), die zur unwillkürlichen Stabilisierung des Kniegelenks führen, liegt das Hauptpotential der biologischen Wiederherstellung.

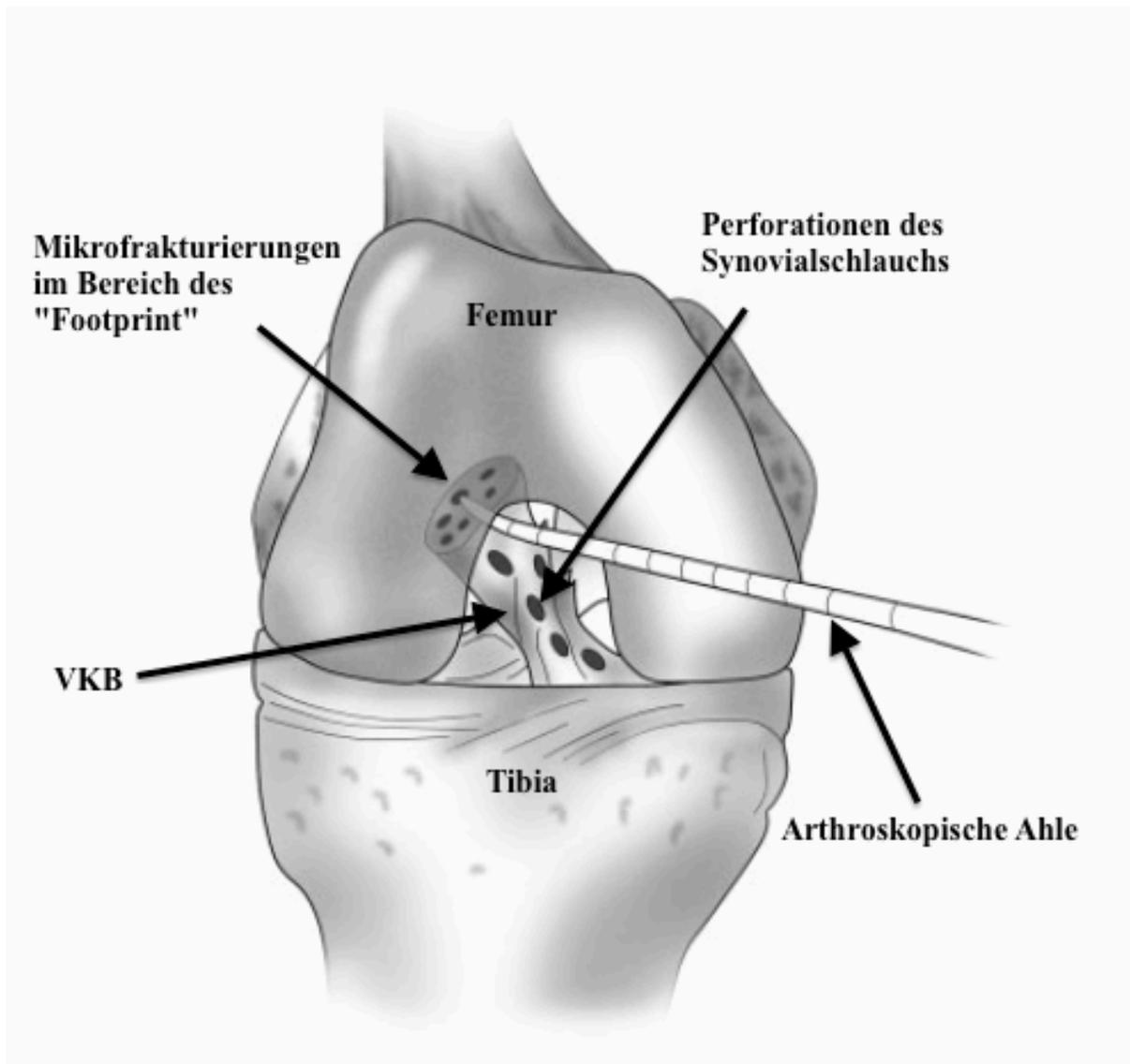


Abb. 7: Schematische Darstellung der Healing Response (Wasmaier et al., 2013)

1.7 Behandlungsstandard im Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein

In unserer Klinik unterscheiden wir zwischen akuten und nicht akuten Verletzungen des vorderen Kreuzbandes. Als akut werden Rupturen des vorderen Kreuzbandes definiert, die innerhalb von sechs Wochen nach erfolgtem Trauma operativ versorgt werden können. Abhängig von Verletzungsmuster und Zeitraum zwischen Trauma und Operation bieten wir grundsätzlich zwei verschiedene Therapieoptionen an: zum einen die autologe Kreuzbandplastik durch Hamstring- oder Patellasehnentransplantate mit femoraler Suture-Plate®- (Fa B|Braun) (Abb.8) beziehungsweise Bio-Trans-Fix®- (Fa Arthrex) (Abb.9) und tibialer Interferenzschraubenfixierung und zum anderen die Healing Response Technik (Abb.7), die nur bei akuten, proximalen Läsionen des VKB durchgeführt werden kann. Sowohl die Healing Response Operation als auch die autologe Kreuzbandrekonstruktion können bei fehlenden Kontraindikationen (z.B. komplexe Begleitverletzungen) einzeitig durchgeführt werden. Die aktuelle Studienlage (Kwok et al., 2013) zeigt kein erhöhtes Arthrofibrosierisiko bei frühzeitiger Kreuzbandrekonstruktion innerhalb einer Woche nach erfolgtem Trauma.

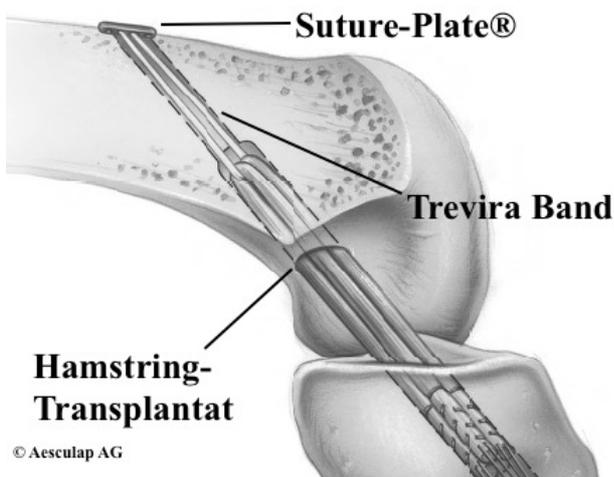


Abb. 8: Kreuzbandrekonstruktion mit einem Hamstring-Transplantat in Suture-Plate® Technik.



Abb. 9: Kreuzbandrekonstruktion mit einem Hamstring-Transplantat in Bio-Trans-Fix® Technik.

Das Behandlungskonzept bei vorderen Kreuzbandrupturen im Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein funktioniert nach folgendem Schema:

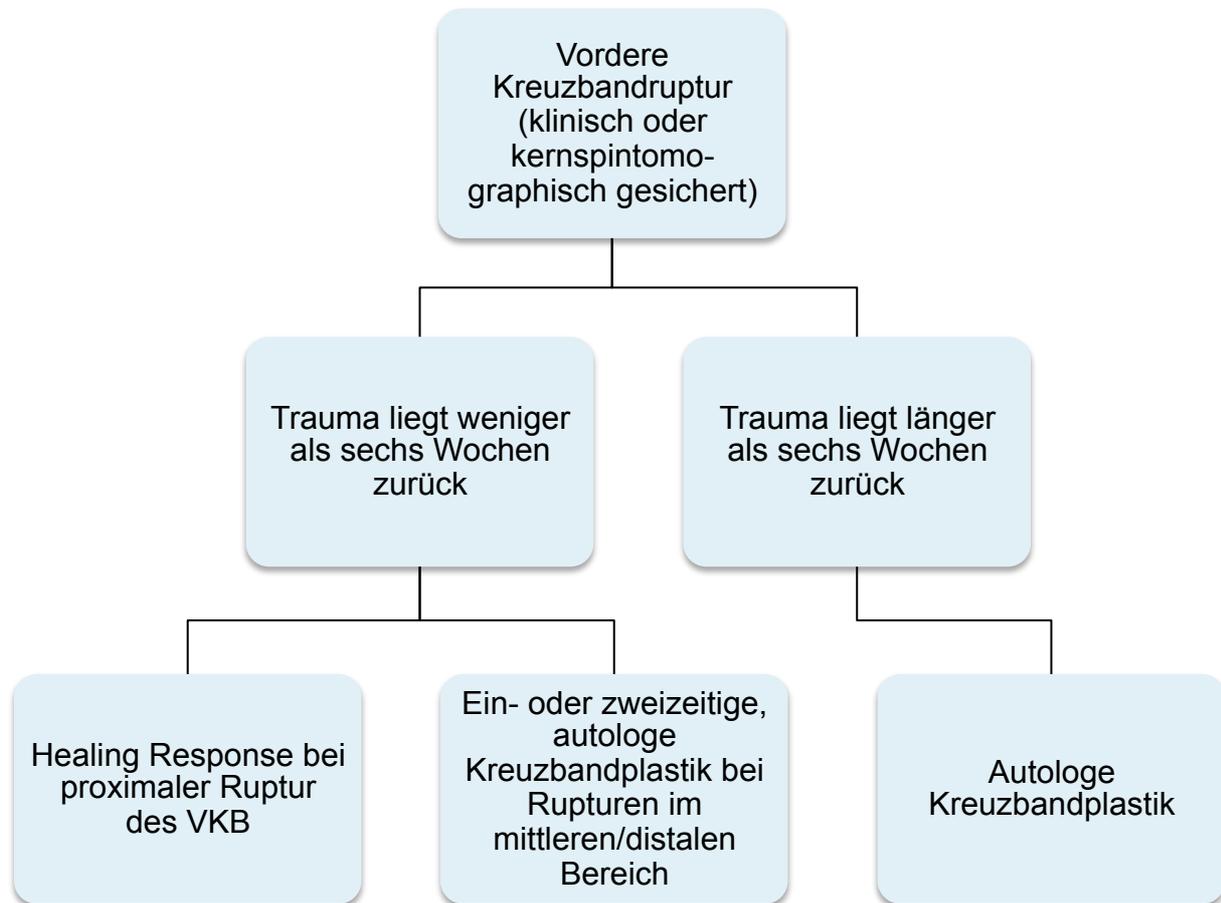


Diagramm 2: Behandlungskonzept der vorderen Kreuzbandruptur im Krankenhaus Linz (2013)

Wir klären die Patienten präoperativ über alle möglichen Therapieoptionen auf und führen Healing Response Operationen immer in Kreuzbandplastikbereitschaft durch. Die konservative Therapie empfehlen wir in der Regel nur älteren Patienten mit deutlich veränderten, arthrotischen Gelenken und geringer, sportlicher Aktivität.

1.8 Hypothese der Studie

Die Healing Response Technik ist im Vergleich zur autologen Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes ein neues Verfahren, dessen erste Studienergebnisse erstmalig 2002 von Steadman et al. veröffentlicht wurden. Bis heute gibt es sehr wenige Studien über die Healing Response. Die bisher veröffentlichten Studien zeigten entweder Ergebnisse von altersselektierten Patientenkollektiven (Steadman et al., 2006, 2012) oder Ergebnisse mit einer durchschnittlichen Nachuntersuchungszeit von unter 5 Jahren (Steadman et al., 2002, Wasmaier et al., 2013). Diese waren bisher zwar vielversprechend (Steadman et al., 2002, 2006, 2012), jedoch wissen wir, dass auch konservativ behandelte Patienten mit vorderen Kreuzbandrupturen kurz- bis mittelfristig gute, klinische Ergebnisse zeigen (Muaidi et al., 2007). Wasmaier et al. verglichen 2013 ein konservativ behandeltes Patientenkollektiv mit einem Healing Response Kollektiv und kamen zu der Schlussfolgerung, dass die Healing Response Patienten keine signifikanten Vorteile in Bezug auf Revisionsrate, vorderer Translationsstabilität und Erreichen des ursprünglichen Aktivitätsniveaus hatten. In unserer Klinik führen wir die Healing Response Operation bei vorderer Kreuzbandruptur seit Ende 2003 durch. Unsere mit Healing Response versorgten Patienten zeigten bisher kurz- bis mittelfristig gute klinische Resultate mit objektivierbaren, stabilen Ergebnissen bezüglich der vorderen Translation (Koopmann, 2010).

Weiterhin zeigten sie eine kürzere, postoperative Rehabilitationszeit, erreichten mehrheitlich ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau und zeigten geringere, postoperative Komplikationen im Vergleich zu Patienten, die im gleichen Zeitraum mit einem autologen Transplantat versorgt worden waren (Tab.1) (Koopman, 2010).

Bis zum Jahr 2013 waren keine Studien über mittel- bis langfristige Ergebnisse bei unselektierten Patienten mit Zustand nach Healing Response Operation bekannt. Die vorliegende Arbeit zeigt mittel- bis langfristige Ergebnisse nach Healing Response Operation nach einem Zeitraum von mindestens 5 Jahren. Die Hypothese der Studie ist, dass bei adäquater Indikation und Patientenselektion die Healing Response eine Behandlungsoption zur autologen Kreuzbandplastik darstellt. Mit Hilfe dieser Arbeit soll demonstriert werden, dass Patienten mit gutem klinischen Outcome 6-12 Wochen nach Healing Response Operation auch nach einem Beobachtungszeitraum von mindestens 5 Jahren gute klinische Ergebnisse, sowie eine objektiv nachweisbare hohe

Kniestabilität aufweisen. Zentral zu beantwortende Fragen waren hierbei das Erreichen des ursprünglichen Aktivitätsniveaus, subjektives Empfinden bezüglich Schwellung, Schmerzen, Instabilitätsgefühl, propriozeptiven und sensorischen Defiziten und die mechanisch objektivierbare, vordere Translation. Weiterhin wurden die Ergebnisse mit denen anderer bisher veröffentlichter Healing Response Studien verglichen, um sie einordnen zu können.

Kurzdefinition der Ziele dieser Arbeit:

- Messung des subjektiven Empfindens der Patienten bezüglich Schwellung, Instabilität, propriozeptiven und sensorischen Defiziten mit Hilfe des Lysholm-Score und eines speziellen Fragebogens mindestens 5 Jahre nach HR Eingriff.
- Vergleich von prätraumatischem und postoperativem Aktivitätsniveau mindestens 5 Jahre nach Healing Response Operation mit Hilfe des Tegner-Aktivitäts-Score.
- Objektivierung der vorderen Translationsstabilität nach Healing Response Operation mit Hilfe eines KT-1000 Arthrometers™.
- Vergleich der Ergebnisse mit Healing Response Vergleichsstudien.

	Healing Response	vordere Kreuzbandplastik
Durchschnittliche Dauer der postoperativ benötigten Krankengymnastikstunden in Stunden bis zum Erreichen der vollen Belastbarkeit der Knie	23 (\pm 24; Median: 12)	46 (\pm 59; Median: 29)
Durchschnittlicher Zeitraum bis zum subjektiven Erreichen der normalen Belastbarkeit der Knie (Hausarbeit/Gehen/Einkaufen etc.) in Wochen	8 (\pm 3; Median: 8)	8 (\pm 6; Median:6)
Durchschnittlicher Zeitraum bis zum subjektiven Erreichen des ursprünglichen Belastungsniveaus (Sport/starke Belastung im Alltag) in Wochen	19 (\pm 9; Median: 16)	29 (\pm 16; Median: 27)
Prozentualer Anteil der Patienten, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau erreichen haben	74 %	41 %

Tabelle 1: Vergleich von postoperativen Healing Response Ergebnissen mit denen der autologen Kreuzbandplastik durchschnittlich 22 Monate nach erfolgter Operation (Koopmann, 2010)

2. Material und Methoden

2.1 Studiendesign, Kollektivzusammensetzung und Messinstrumente

Untersucht wurde der Therapieerfolg der Healing Response Methode bei Patienten mit akuter, proximaler vorderer Kreuzbandruptur mit einem Untersuchungszeitraum von mindestens 5 Jahren nach Operation (Median 6 Jahre; Maximum: 8 Jahre). Zwischen dem Januar 2004 und dem Mai 2007 wurden in unserem Haus 126 Patienten mit HR versorgt. Die Krankengeschichte der 126 Patienten wurde anhand von Operationsberichten und medizinischen Akten erhoben. Fehlende Daten wurden durch eine telefonische Anamneseerhebung ergänzt. Zum Zeitpunkt der Operation lag der Altersdurchschnitt des Gesamtkollektivs bestehend aus 126 Patienten (60 Männer/66 Frauen) bei 33,6 Jahren ($\pm 11,5$; Range: 12-66 Jahre; Median: 35 Jahre). Zum Zeitpunkt der retrospektiven Datenerhebung lag der Altersdurchschnitt des Gesamtkollektivs bei 40,2 Jahren ($\pm 11,6$; Range: 20-73 Jahre; Median: 41,5 Jahre).

Folgende Merkmale wurden bei allen 126 Healing Response Patienten erfasst:

- Alter zum Operationszeitpunkt
- Geschlecht
- Datum der Primäroperation
- Lokalisation der VKB Rupturstelle beim Primäreingriff und Begleitverletzungen
- Dauer des Krankenhausaufenthalts
- klinisches Outcome bei den postoperativen Untersuchungen
- Intraoperative Befunde bei Folgeeingriffen

Die Einschätzung des Therapieerfolgs nach mindestens 5 Jahren konnte bei 43 Patienten (20 Männer/23 Frauen) mit einem Durchschnittsalter von 42,5 Jahren ($\pm 11,7$; Range: 21-72 Jahre; Median: 45 Jahre) erhoben werden (Alter- und Geschlechtsverteilung siehe Diagramm 3). Zum Zeitpunkt der Operation lag das Durchschnittsalter des Kollektivs bei 36,6 Jahren ($\pm 11,6$; Range: 16-66 Jahre; Median: 39 Jahre). Die durchschnittliche Zeitspanne von Trauma bis zur Operation lag bei 15,5 Tagen (Range: 1-42 Tage). Bei 32,6 % (14/43) der Patienten wurde die Healing Response Operation

ambulant durchgeführt. Die durchschnittliche Krankenhausliegezeit lag bei 1,7 Tagen (Range: 0-5 Tage). Der durchschnittliche Nachuntersuchungszeitraum lag bei 75 Monaten (± 10 ; Median: 73 Monate).

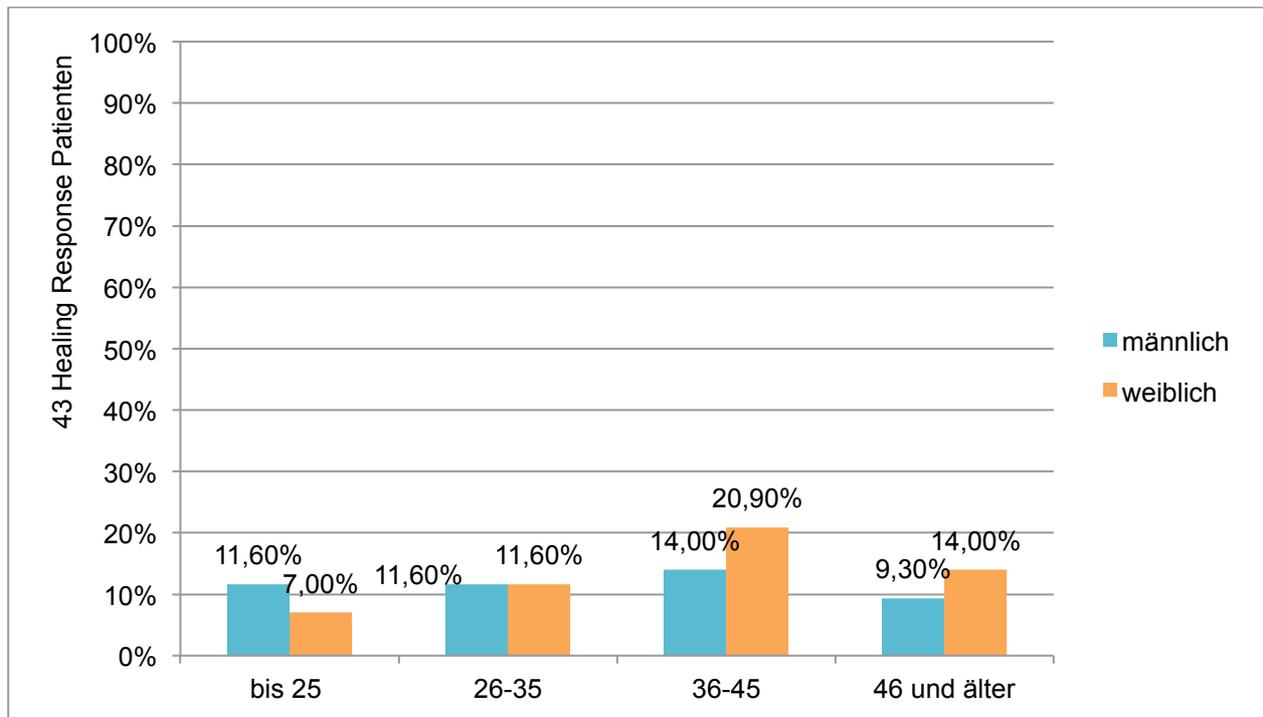


Diagramm 3: Alters- und Geschlechtsverteilung zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

Bei den 43 klinisch nachuntersuchten Patienten wurden folgende Instrumente zur Einschätzung des Therapieerfolgs verwendet:

- Bestimmung der vorderen Translation im Seitenvergleich mit einem KT-1000 Arthrometer™ (MEDmetric® Corporation, San Diego, USA)
- Lysholm-Score (Lysholm und Gillquist, 1982) zur subjektiven Bestimmung der Kniestabilität und objektiven Quantifizierung von möglichen Muskelatrophien
- Tegner-Aktivitäts-Score (Tegner und Lysholm, 1985) zur Beurteilung des prätraumatischen und aktuellen, sportlichen Aktivitätsniveaus
- Formblatt 3 eines modifizierten IKDC 2000 (Hefti et al., 1993) Knieuntersuchungsbogens zur Beurteilung der Kniefunktion

- Bestimmung der aktiven und passiven Bewegungsausmaße mit einem Goniometer
- ein speziell zusammengestellter Fragebogen zur Beurteilung von Gesamtzufriedenheit der Behandlung, prä- und postoperativer Kniefunktion, Problemen bei der Ausübung von Alltagsaktivitäten und eventuell vorhandenen Sensibilitätsstörungen

2.1.1 KT-1000 Arthrometer™

Die apparative Messung der vorderen Translation wurde mit einem KT-1000 Arthrometer™ der Firma MEDmetric® durchgeführt. Das KT-1000™ Arthrometer kann als standardisierter, instrumenteller Lachman-Test angesehen werden (König et al., 1998) und liefert valide, reproduzierbare Ergebnisse (Pugh et al., 2009). Das in der Studie benutzte Gerät besitzt 3 Zugkraftstufen (67 N, 89 N und 134 N), die jeweils akustisch signalisiert werden. In Rückenlage werden die Unterschenkel des Patienten auf eine Hartplastikrolle gelegt um eine Knieflexion von ca. 25° zu bewirken. Die Fersen werden dabei parallel auf einer Fußablage ausgerichtet und die Unterschenkel leicht außenrotiert. Mit Klettverschlüssen wird das Arthrometer nun am Unterschenkel entlang der ventralen Tibiakante des Patienten fixiert. Hierbei ist darauf zu achten, die vorgegebene Markierung am Arthrometer auf Höhe des Gelenkspalts und die Druckplatte auf Höhe der Patella liegt (Abb.10). Anschließend wird die Tibia bei fixiertem Femur ventralisiert (Abb.11). Zusätzlich besteht die Möglichkeit einen maximalen, anterioren Zug auszuüben, in dem man die Tibia von dorsal ventralisiert (Abb.12). Dieser Test wird auch Manual-Maximum-Displacement-Test genannt, bei dem in der Regel zwischen 134 N und 190 N Zugkraft ausgeübt werden (Anderson et al., 1992). Vor jeder Messreihe muss das Gerät neu justiert und der Nullpunkt am Gerät neu eingestellt werden. Im Rahmen der durchgeführten Messreihen wurde die operierte und gesunde Knieseite 3 Mal mit 134 N Zugkraft und 3 Mal im Manual-Maximum-Displacement-Test gemessen und der Mittelwert daraus errechnet. Zusätzlich wurde die posteriore Translation mit 89 N gemessen, um Läsionen des hinteren Kreuzbandes und Fehlmessungen auszuschließen. Ein Vorschub bis 3 mm wurde als obere normale Grenze der vorderen Translation bestimmt (Bach et al., 1990).

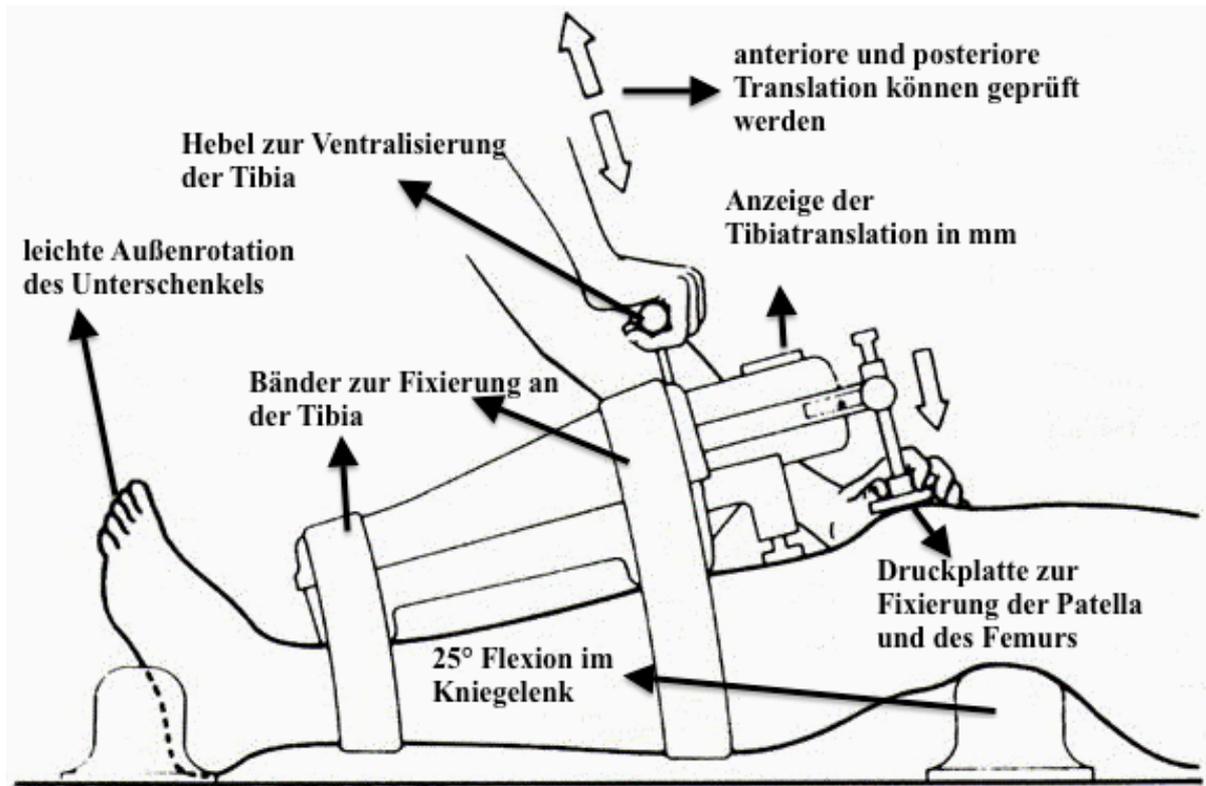


Abb. 10: Schematische Darstellung der KT-1000™ Messung



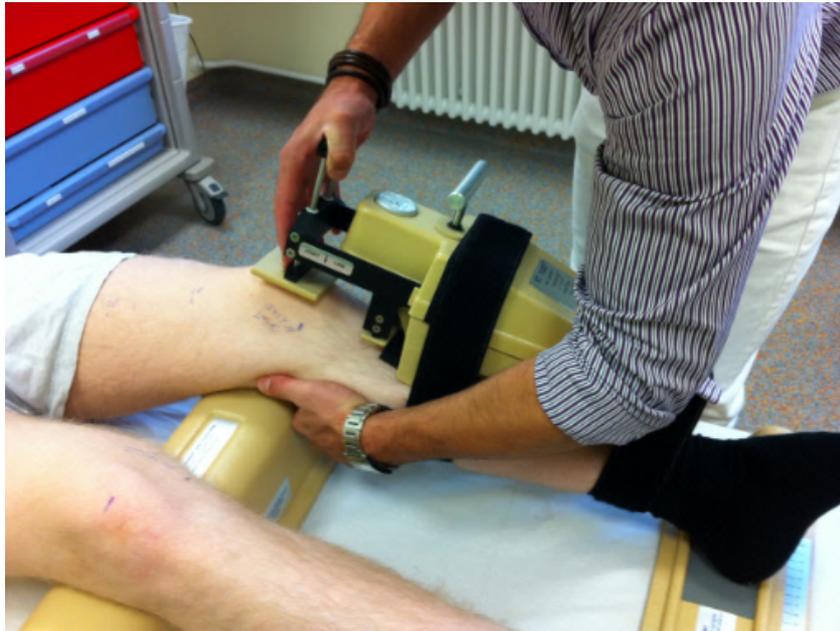


Abb. 12: KT-1000™ in der Anwendung (Manual-Maximum-Displacement-Test)

2.1.2 Lysholm-Score

Der 1982 von Lysholm und Gillquist entwickelte Fragebogen ist ein häufig benutztes Messinstrument (Lysholm und Tegner, 2007) zur subjektiven Evaluation der Kniefunktion. Die Messung der Muskelatrophie ist dabei das einzige, objektive Messkriterium.

Der Lysholm-Score umfasst folgende 8 Kriterien, die unterschiedlich stark mit Punkten gewichtet werden:

- Instabilitäten (max. 30 Punkte)
- Schmerzen (max. 30 Punkte)
- Schwellungen (max. 10 Punkte)
- Treppen steigen (max. 10 Punkte)
- Hinhocken (max. 5 Punkte)
- Hinken (max. 5 Punkte)
- Gehhilfen (max. 5 Punkte)
- Muskelatrophie (max. 5 Punkte)

Die Punkte jedes Kriteriums werden addiert. Maximal können 100 Punkte erreicht werden. Die Beurteilung der subjektiven Kniefunktion richtet sich nach Tab.2:

Gesamtpunktzahl	Bewertung
≥ 90 Punkte	Sehr gut
≥ 80 Punkte	Gut
≥ 70 Punkte	Mäßig
< 70 Punkte	Schlecht

Tabelle 2: Einstufung der Lysholm-Score Gesamtbewertung

Die Oberschenkelmuskelumfangsmessungen erfolgten mit einem Maßband 10 cm und 20 cm über dem Gelenkspalt und auf Höhe der Patella.

2.1.3 Tegner-Aktivitäts-Score

Mit Hilfe des 1985 von Tegner und Lysholm eingeführten Fragebogens ist es möglich, vergleichende Aussagen darüber zu treffen, ob Patienten nach einem operativen Eingriff ihr prätraumatisches, sportliches Aktivitätsniveau erreicht haben. Die Skala im Tegner-Aktivitäts-Score beinhaltet Werte zwischen 0-10, wobei 0 einer verletzungsbedingten Arbeitsunfähigkeit bzw. Frührente gleichzusetzen ist und 10 für nationalen oder international ausgeübten Leistungssport mit Körperkontakt steht. In der vorliegenden Arbeit wurde nach dem prätraumatischen und aktuellen Tegner-Score zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gefragt.

2.1.4 IKDC 2000 Evaluationsbogen

Das "International Knee Documentation Committee" (IKDC) Formblatt wurde 1993 von Hefti und Mitarbeitern erstmals publiziert. 1998 erfolgte die Teilvalidierung für Patienten mit vorderer Kreuzbandruptur (Irrgang et al., 1998). Das IKDC 2000 besteht aus 6 jeweils auch einzeln verwendbaren Formblättern:

- Demographisches Formblatt
- Formblatt zur Beurteilung des gegenwärtigen Gesundheitszustandes
- Formblatt zur subjektiven Beurteilung des Knies
- Formblatt zur Anamnese des Knies
- Chirurgisches Dokumentationsblatt
- Formblatt zur Untersuchung des Knies

In dieser Arbeit wurde eine modifizierte Version des Formblatts zur Untersuchung des Knies verwendet. Dieser beinhaltet folgende Hauptgruppen:

1. Erguss
2. passives Bewegungsdefizit
3. Ligamentuntersuchung

Jede Hauptgruppe umfasst mehrere Einzeluntersuchungen und wird bewertet mit:

- A (normal)
- B (fast normal)
- C (abnormal)
- D (deutlich abnormal)

Der schlechteste Wert einer Einzeluntersuchung bestimmt den Hauptgruppengrad und der schlechteste Hauptgruppengrad bestimmt das Gesamtergebnis. Um zum Beispiel ein normales Ergebnis zu erzielen muss ein Patient in allen Hauptgruppen eine A Bewertung erreichen. Die schlechteste Hauptgruppenbewertung ist maßgebend für die Gesamtbewertung. Außer der Hauptgruppenbewertung wurde mit Hilfe eines

Goniometers das passive und aktive Bewegungsausmaß beider Knie bestimmt und mit Hilfe eines KT-1000™ Arthrometers ein instrumenteller Lachman-Test durchgeführt. Auf die Bestimmung der Kompartment-/Röntgenbefunde, der Transplantatentnahmemorbidität und des One-Leg-Hop Tests wurde verzichtet, weil für die Healing Response kein Transplantat entnommen werden muss, die Patienten nicht einer Röntgenuntersuchung unterzogen werden sollten und der One-Leg-Hop-Test schwer valide und reliabel zu quantifizieren ist.

2.1.5 Spezieller Fragebogen zur subjektiven Zustandsbeurteilung

Dieser von Koopmann et al. 2007 im Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein entworfene Fragebogen wurde konzipiert um folgende Fragen zu beantworten:

- Anamnestische Fragen bezüglich Schäden des kontralateralen Knies und erneuten Traumen der operierten Seite, die nicht aus der Aktenlage eruierbar waren
- Mögliche Sensibilitätsstörungen im Bereich des operierten Knies
- Schwierigkeiten beim Verrichten von Alltagsbewegungen (Treppen steigen/Treppen hinuntergehen/ knien/ Hockstellung/ sitzen/ geradeaus laufen/ hochspringen und auf einem Bein landen/ schnelles gehen, abbremsen und wieder gehen) mit einer Skalierung von überhaupt nicht schwierig bis unmöglich
- subjektive, prätraumatische und aktuelle Kniefunktion mit einer Skalierung von normal bis stark abnormal
- Gesamtbeurteilung der Behandlung mit einer Skalierung von 1 = sehr gut bis 10 = sehr schlecht

2.2 Patientenselektion

Um die Operationsergebnisse adäquat einordnen zu können wurde die operierte Knieseite mit einer "gesunden" Gegenseite verglichen.

Einschlusskriterien waren:

- Die klinische und intraoperative Diagnose einer akuten, proximalen, vorderen Kreuzbandruptur und die konsekutive Versorgung in Healing Response Technik mit einem Nachuntersuchungszeitraum von mindestens 5 Jahren.
- Eine Ruptur des VKB im Bereich der ersten 2/5 vom femoralen Ansatz des Kreuzbandes
- Operative Versorgung innerhalb von 6 Wochen ab Trauma

Ausschlusskriterien waren:

- Ein Abstand zum Trauma von mehr als sechs Wochen
- Knieprothese, Kreuzbandplastik oder Kreuzbandruptur auf der Gegenseite
- Reruptur des vorderen Kreuzbandes
- Verletzung des hinteren Kreuzbandes
- Ausgeprägte Meniskusläsionen (totale/subtotale mediale oder laterale Resektion)
- Großflächige Knorpelschäden (3°- 4° nach Outerbridge) im Bereich beider Knie
- multidirektionale Instabilität aufgrund von kombinierten Bandverletzungen
- Patienten, bei denen knorpelrekonstruktive (OATS, MACT, AMIC) Maßnahmen nötig waren

Unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien kamen 29,4 % (37/126) der Patienten nicht für die Nachuntersuchung in Betracht.

Die restlichen 70,6 % (89/126) der Patienten wurden um Teilnahme an der Follow-Up Untersuchung gebeten. 35,7 % (45/126) der Patienten erklärten sich zur Teilnahme an der Nachuntersuchung bereit. Zwei weitere Patienten schieden wegen einer Kreuzbandplastikversorgung auf der Gegenseite bzw. Läsion des hinteren Kreuzbandes aus, was im Rahmen der Anamneseerhebung bei der klinischen Untersuchung

festgestellt wurde. 34,1 % (43/126) aller Patienten wurden klinisch nachuntersucht. Dies entsprach 48,3 % (43/89) aller für die Nachuntersuchung verfügbaren Patienten unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien. 44 Patienten (24 Männer/20 Frauen) erfüllten nach medizinischer Aktenlage alle Einschlusskriterien der Studie, konnten aber nicht an der klinischen Nachuntersuchung teilnehmen. 2 Patienten (1 Mann/1 Frau) mussten im Rahmen der persönlichen Anamneseerhebung vor der klinischen Nachuntersuchung ausgeschlossen werden. Bei 32 von diesen 46 Patienten konnte die Anamnese bis zum Jahr 2012 telefonisch erhoben werden. 12 Patienten waren weder telefonisch noch postalisch erreichbar. Ihre Anamnese konnte nur anhand der medizinischen, postoperativen Dokumentation erfolgen, die teilweise nicht bis zum Jahr 2012 reichte. Bei 20 von den 46 klinisch nicht nachuntersuchten HR Patienten konnte zwischen 2004 und 2012 im Rahmen von Rearthroscopien ein morphologisch intaktes, femoral eingewachsenes und synovialüberzogenes, vorderes Kreuzband nach HR diagnostiziert werden.

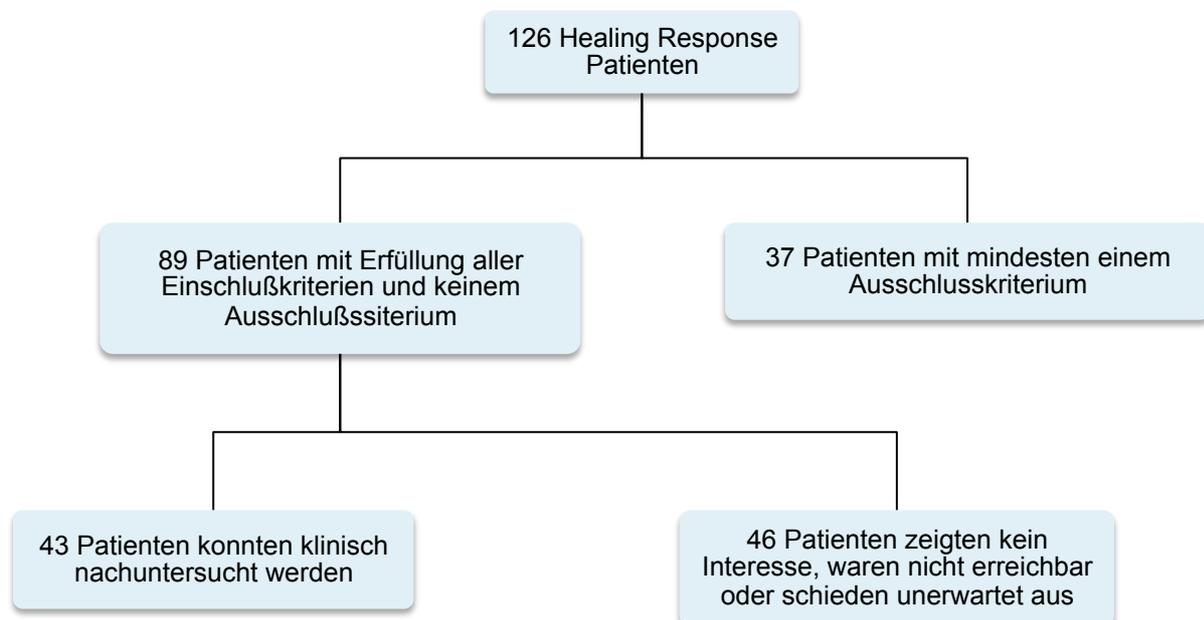


Diagramm 4: Patientenselektion des klinisch nachuntersuchten Kollektivs (2012)

2.3 Operationstechnik der Healing Response

Die Narkoseuntersuchung der Patienten umfasste folgende klinische Tests: Lachmann-Test, Pivot-Shift-Test, Prüfung der Kollateralbänder. Der arthroskopische Eingriff wurde in einer 2-Inzisionen-Technik mit einem anteromedialen und anterolateralen Portal durchgeführt. Initial wurde eine diagnostische Arthroskopie durchgeführt, in der das vordere Kreuzband beurteilt und eventuelle Begleitschäden in Form von Meniskus- und Knorpelläsionen verifiziert bzw. ausgeschlossen wurden. Dann erfolgte die Versorgung der Begleitschäden mit Meniskusteilresektion beziehungsweise Meniskusrefixation. Weiterhin wurden fakultative Knorpelläsionen mit einem Full-Radius-Shaver geglättet und gegebenenfalls mit einer Serfas-Sonde versiegelt. Nach Versorgung der Begleitschäden erfolgte die Beurteilung des vorderen Kreuzbandes mit Prüfung der Kontinuität. Bei vorliegender Ruptur wurde die genaue Rupturlokalisierung bestimmt (Abb.13). Die Healing Response Indikation bestand nur bei akuter, proximaler vorderer Kreuzband Total- oder Partialruptur. Die Operationstechnik der Healing Response basiert auf ähnlichen Prinzipien wie die der Mikrofrakturierung von lokalen Knorpeldefekten. Mit einem Taststab wurden die Kreuzbandfasern und der Synovialschlauch inspiziert und die intercondyläre femorale Notch freigelegt. Dann wurden im Bereich der Notch ca. 6-9 Bohrungen mit einer speziellen Ahle (Arthrex® Chondro Pick) durchgeführt (Abb.14). Die Bohrungen mussten in 3-4 mm Abständen erfolgen, so dass keine Knochenaufbrüche erfolgten. Die Bohrtiefe lag zwischen 3-5 mm. Hauptfaktor für eine suffiziente Bohrtiefe war der Austritt von Blut aus den Perforationsstellen. Im Bereich des femoralen Kreuzbandstumpfs und des Synovialschlauchs wurden dann ebenfalls 5-10 Perforationen gesetzt (Abb.15). Dies erfolgte ebenfalls mit dem Chondro Pick (Arthrex®). Hier musste es auch zum Austritt von Blutropfen kommen. Mit einem Taststab wurde das dislozierte Kreuzbandende unter Streckung des Kniegelenks wieder an seinen anatomischen, femoralen Ursprung reponiert (Abb.16) und das Knie in voller Extensionsstellung mit einer Mecron®-Schiene für 6 Wochen fixiert. Auf den Einsatz von Drainagen wurde verzichtet.

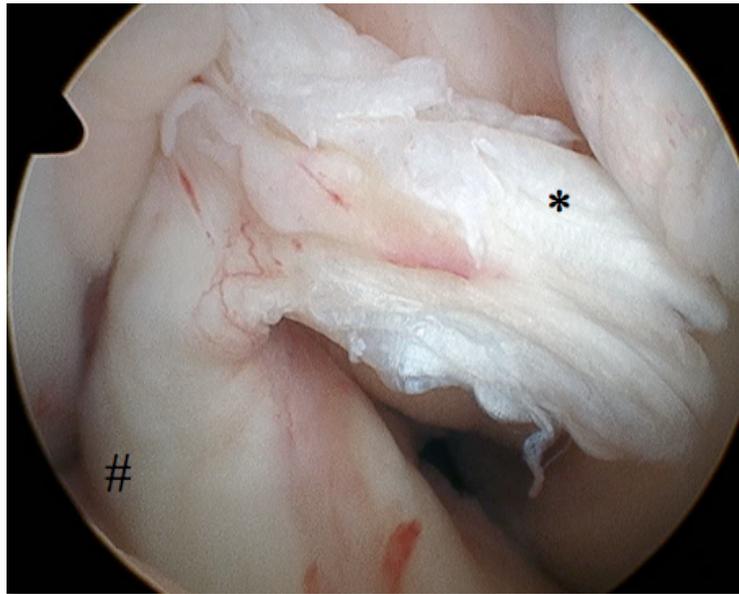


Abb. 13: Rupturlokalisation des vorderen Kreuzbandes (VKB)

*proximales Ende des rupturierten VKB;
#reguläre Struktur der Kreuzbandfasern

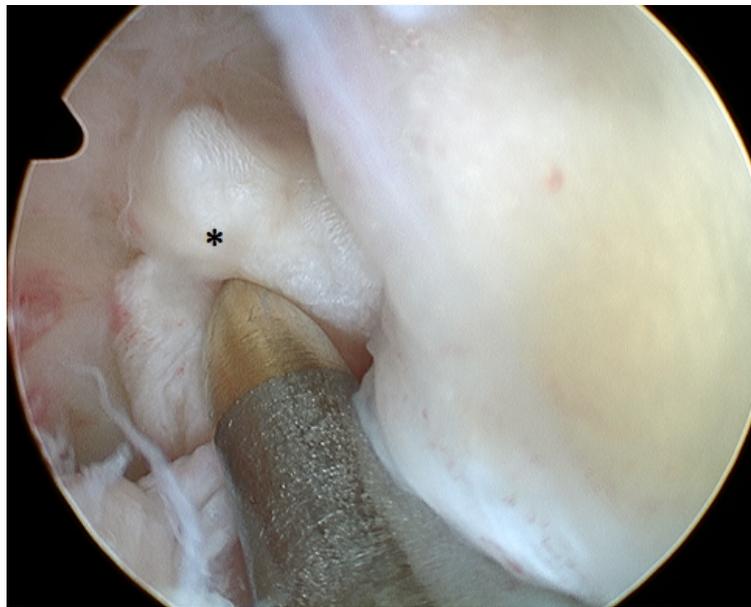


Abb. 14: Durchführung der Healing Response Mikrofrakturierung im Bereich der femoralen Insertion (10.30h Position) mit dem Chondro Pick

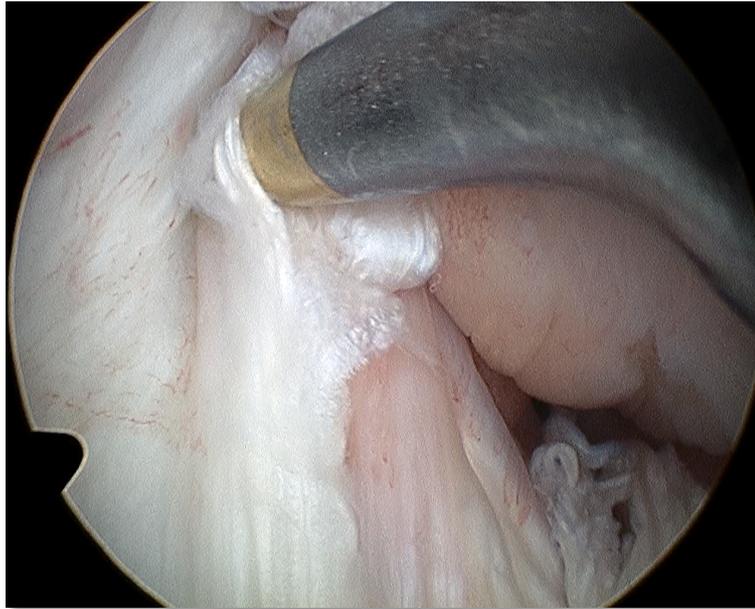


Abb. 15: Durchführung der Healing Response

*Perforation des vorderen Kreuzbandes über die gesamte Länge mit dem Chondro Pick

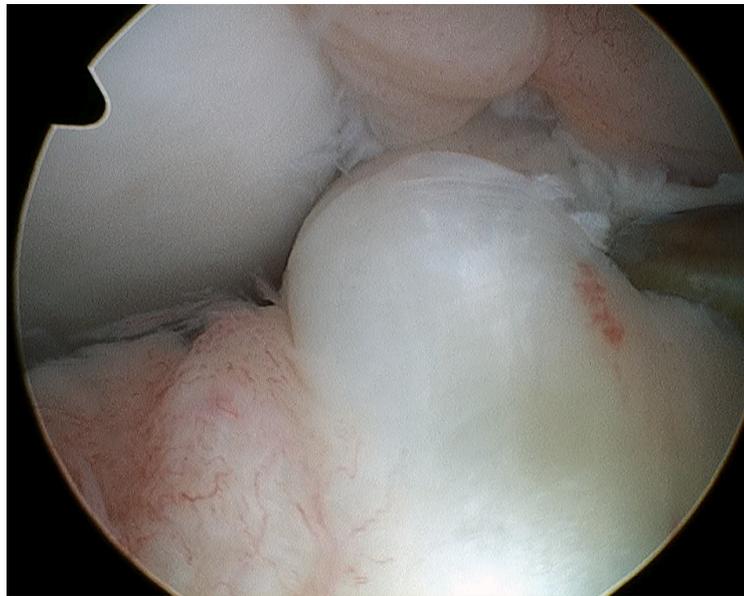


Abb. 16: Reposition des vorderen Kreuzbandes

2.4 Postoperative Rehabilitation

Das postoperative Rehabilitationsprotokoll war bei allen Patienten gleich. Für 6 Wochen musste das operierte Knie ununterbrochen in einer Mecron[®]-Schiene bei 0° Extension fixiert werden. Für diesen Zeitraum war die Flexion des Knies komplett aufgehoben. Die Belastung erfolgte mit vollem Körpergewicht an Unterarmgehstützen, sofern keine Meniskusrefixationsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Antikoagulation wurde für 6 Wochen mit einem niedermolekularen Heparin durchgeführt, sofern die Patienten das operierte Bein nicht voll belasteten.

Während der 6 Wochen wurden die Patienten angeleitet, tägliche isometrische Übungen der Oberschenkelmuskulatur durchzuführen, um einer Muskelatrophie vorzubeugen. Weiterhin wurden täglich passive Patellamobilisationen durchgeführt.

6 Wochen nach Operation erfolgte dann die Wiedervorstellung, bei der das Knie klinisch nachuntersucht wurde. Die Patienten wurden in 1-2 Wochen Abständen kontinuierlich ambulant nachuntersucht, bis die Funktion frei und das Gangbild flüssig war.

Bei klinisch gutem Stabilitätsergebnis in Bezug auf die vordere Translation (Seitendifferenz $x < 3$ mm; negativer Lachman-/Pivot-Shift-Test) schloss sich ein 4-6 wöchiges Muskelaufbau- und Propriozeptionstraining mit initial passiver Beübung des Kniegelenks an. Im Verlauf erfolgte dann die zunehmende aktive Beübung des Kniegelenks. Ca. 18 Wochen postoperativ erfolgte die sukzessive sportliche Aufbelastung mit Durchführung von Sportarten ohne Rotationskomponente wie Joggen auf ebenem Grund oder Schwimmen in Kraultechnik. 24 Wochen postoperativ konnte die Ausübung von Sportarten mit Rotations- und Start und Stop-Komponente wie Tennis, Squash, Basketball erfolgen.

Bei klinisch instabilem Befund (pathologischer Lachmann-/Pivot-Shift-Test; Translationsseitendifferenz über 3 mm) wurden MRT Untersuchungen durchgeführt.

Bei nachgewiesener, eindeutiger Elongation / Dislokation des vorderen Kreuzbandes im MRT, klinisch eindeutig pathologischem Test der vorderen Translation und dem subjektiven Gefühl der Instabilität mit Giving-Way Symptomatik erfolgte die Vereinbarung einer Kontrollarthroskopie mit Aufklärung über Kreuzbandplastikbereitschaft.

2.5 Statistische Methoden

Berechnet wurden absolute und relative Häufigkeiten bei nominal und ordinal skalierten Merkmalen bzw. Mittelwerte und Standardabweichungen bei intervall skalierten Charakteristika. Die statistischen Analysen wurden mit IBM® SPSS® Statistics, Version 20 durchgeführt, die Tabellen und Grafiken mit Microsoft Word® und Excel® 2011 und hergestellt.

3. Ergebnisse

3.1 Restrospektives Outcome aller 126 Healing Response Patienten

Aus der Anamneseerhebung heraus wiesen von 126 Healing Response Patienten 77 % (97/126) 6-12 Wochen nach der Operation einen guten, klinischen Befund auf (neg. Lachmann-Test/Pivot-Shift-Test ; vordere Translationsseitendifferenz $x < 3$ mm; keine Giving-Way Symptomatik). 15,1 % (19/126) aller Patienten wiesen klinisch bzw. kernspintomographisch eine primäre Insuffizienz des vorderen Kreuzbandes nach Healing Response Operation auf und wurden mit einer sekundären Kreuzbandplastik versorgt. Die intraoperativen Befunde bei der Rearthroskopie sind in Tab.3 dargestellt. 7,9 % (10/126) der Patienten sind nicht zur postoperativen Nachuntersuchung erschienen. Bei Ihnen konnte die Anamneseerhebung nur telefonisch erfolgen.

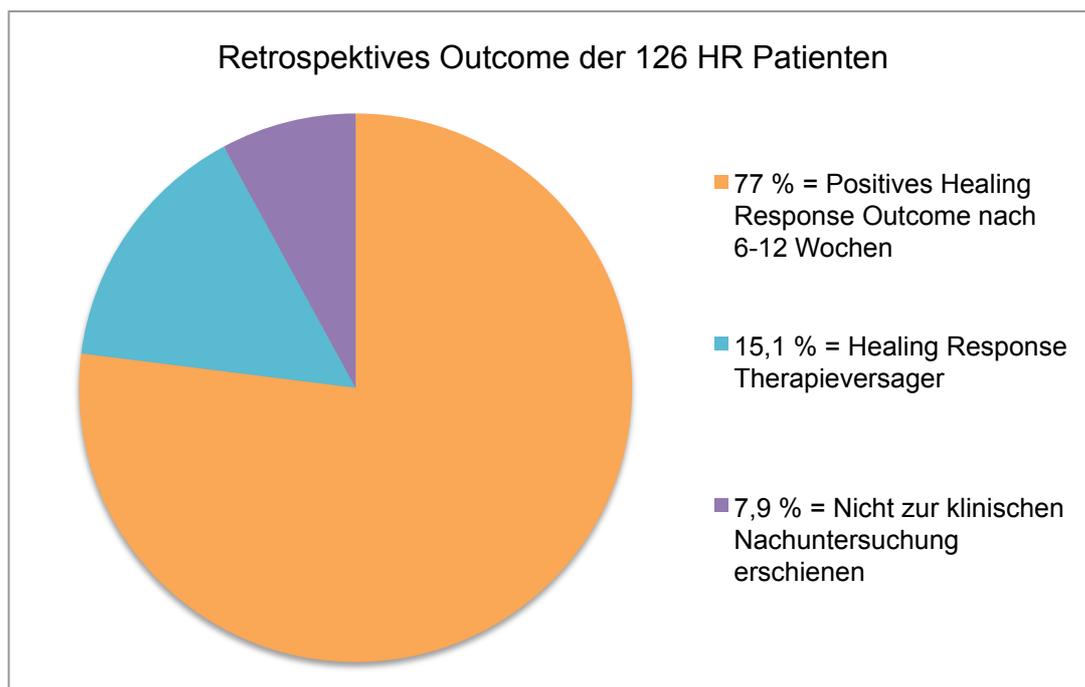


Diagramm 5: Healing Response Outcome 6-12 Wochen bei einem N von 126

Bei 24,6 % (31/126) aller Patienten konnte im Rahmen von Rearthroscopien zwischen 2004 und 2012 ein morphologisch intaktes, femoral eingewachsenes und synovialüberzogenes, vorderes Kreuzband nach HR diagnostiziert werden. Die Rearthroscopien wurden wegen des Verdachts auf Knorpel- bzw. Meniskusläsionen bzw. des Verdachts der vorderen Kreuzbandreruptur durchgeführt. In den meisten Fällen waren die Beschwerden durch ein erneutes Trauma bedingt. Bei 22 dieser Patienten war das VKB an regelrechter Position ohne Elongation eingeeilt. 9 Patienten wiesen eine leichte Elongation auf, die klinisch nicht relevant war. 10 Patienten wiesen Vernarbungen im Bereich der interkondylären Notch auf, die gelöst wurden. Eine Übersicht der Befunde und Therapiemaßnahmen ist in Tab.4 dargestellt.

N= 126	
Insuffizienz*	11/126 (8,7 %)
Insuffizienz* + Meniskus- oder Knorpelläsion	3/126 (2,4 %)
Insuffizienz* + Vernarbungen im Bereich der intercondylären Notch	3/126 (2,4 %)
Insuffizienz* + Vernarbungen im Bereich der intercondylären Notch + Meniskus- oder Knorpelläsion	2/126 (1,6 %)

Tabelle 3: Intraoperative Befunde bei 19 Patienten mit primärer Healing Response Insuffizienz

*Insuffizienz= Adhäsion am hinteren Kreuzband oder ventrale Insertion mit signifikanter Elongation

Diagnose	Therapie	N= 126
VKB loco typico*	keine weiteren Läsionen	9/126 (7,1 %)
VKB loco typico	Narbenlösung**	4/126 (3,1 %)
VKB loco typico	Narbenlösung** + chondroplastische oder/und meniskus chirurgische Maßnahmen	2/126 (1,6 %)
VKB loco typico	Chondroplastische oder/und meniskus chirurgische Maßnahmen	7/126 (5,6 %)
VKB elongiert***	keine weiteren Läsionen	3/126 (2,4 %)
VKB elongiert	Narbenlösung**	4/126 (3,2 %)
VKB elongiert	Narbenlösung** + chondroplastische oder/und meniskus chirurgische Maßnahmen	0/126 (0 %)
VKB elongiert	Chondroplastische oder/und meniskus chirurgische Maßnahmen	2/126 (1,6 %)

Tabelle 4: Intraoperative Befunde im Rahmen von Rearthroscopien nach erfolgreicher Healing Response Operation

*loco typico= Insertion im Bereich des anatomischen, femoralen Kreuzbandansatz
 **Narbenlösung= Lösen von Adhäsionsbrücken im Bereich der intercondylaren Notch
 ***elongiert= klinisch suffizientes VKB mit minimal ventraler Insertion.

24,6 % (31/126) aller Patienten wurden im Verlauf mit einer Kreuzbandplastik versorgt, wobei 15,1 % (19/126) davon primäre Healing Response Therapieversager waren und 9,5 % (12/126) klinisch primär einen erfolgreichen Healing Response Befund aufwiesen und traumatisch bedingt eine Kreuzbandreruptur erlitten. Die intraoperativ festgestellte Rerupturlokalisierung ist in Tab.5 dargestellt.

N= 126	
Keine weiteren Informationen über die Rerupturstelle***	3/126 (2,4 %)
Traumatische, proximale Reruptur**	5/126 (4 %)
Traumatische, proximale Reruptur + Meniskus- und/oder Knorpelläsion **	1/126 (0,8 %)
Traumatische Reruptur unter der HR Narbe**	1/126 (0,87 %)
Traumatische Reruptur unter der HR Narbe + Meniskus- und/oder Knorpelläsion **	2/126 (1,6 %)
VKB Rekonstruktion bei primärer HR Insuffizienz	19/126 (15,1 %)

Tabelle 5: Intraoperative Befunde (Rerupturstelle + Begleitschäden) bei 31 Patienten mit sekundärer autologer Kreuzbandplastik nach primärer Healing Response

*Patienten wurden in einem externen Krankenhaus operiert. Keine detaillierte Anamneseerhebung möglich.

**Patienten mit primär erfolgreicher HR und traumatischer Reruptur

3.2 Ergebnisse der 43 klinisch nachuntersuchten Healing Response Patienten mindestens 5 Jahre nach Operation

Bei 41,9 % (18/43) aller Patienten lag präoperativ eine kernspintomographische Diagnostik mit Verifizierung einer vorderen Kreuzbandruptur vor. 93 % (40/43) der Patienten wiesen intraoperativ eine proximale Totalruptur auf. 7 % (3/43) wiesen eine Partialruptur auf. 79,1 % (34/43) aller Patienten wiesen neben der vorderen Kreuzbandruptur noch Begleitschäden auf. Diese sind in Tab.6 dargestellt. Bei 14 % (6/43) der Patienten wurden bei akuten Korbhenkelrissen Meniskusnähte durchgeführt und bei 9,3% der Patienten wurde bei inkompletten Meniskusrissen im Bereich der gut durchbluteten Meniskusbasis ein Meniskus-Needling durchgeführt.

N= 43				
1	2	3	4	5
Isolierte VKB Ruptur	VKB Ruptur + Meniskusläsion**	VKB Ruptur + eine weitere Läsion* (außer Meniskusläsionen**)	VKB Ruptur + mindestens zwei weitere Läsionen * (davon eine Meniskusläsion**)	VKB Ruptur + mindestens zwei weitere Läsionen * (keine Meniskusläsionen**)
20,9 % (9/43)	23,3 % (10/43)	23,3 % (10/43)	27,9 % (12/43)	4,7 % (2/43)

Tabelle 6: Begleitverletzungen des klinisch nachuntersuchten Healing Response Kollektivs

*weitere Läsionen= 1°-2° Knorpelläsionen; Verletzungen der Kollateralbänder ohne Instabilitäten

**partielle Meniskusläsionen (Horizontal-, Radiär-, Korbhenkelläsionen, die keine totale/subtotale Meniskusresektion erforderlich machten)

3.2.1 Ergebnisse des Lysholm-Score

Der durchschnittliche Lysholm-Score des Healing Response Kollektivs lag bei 92,2/100 Punkten ($\pm 8,9$; Minimum: 55; Maximum: 100; Median: 95).

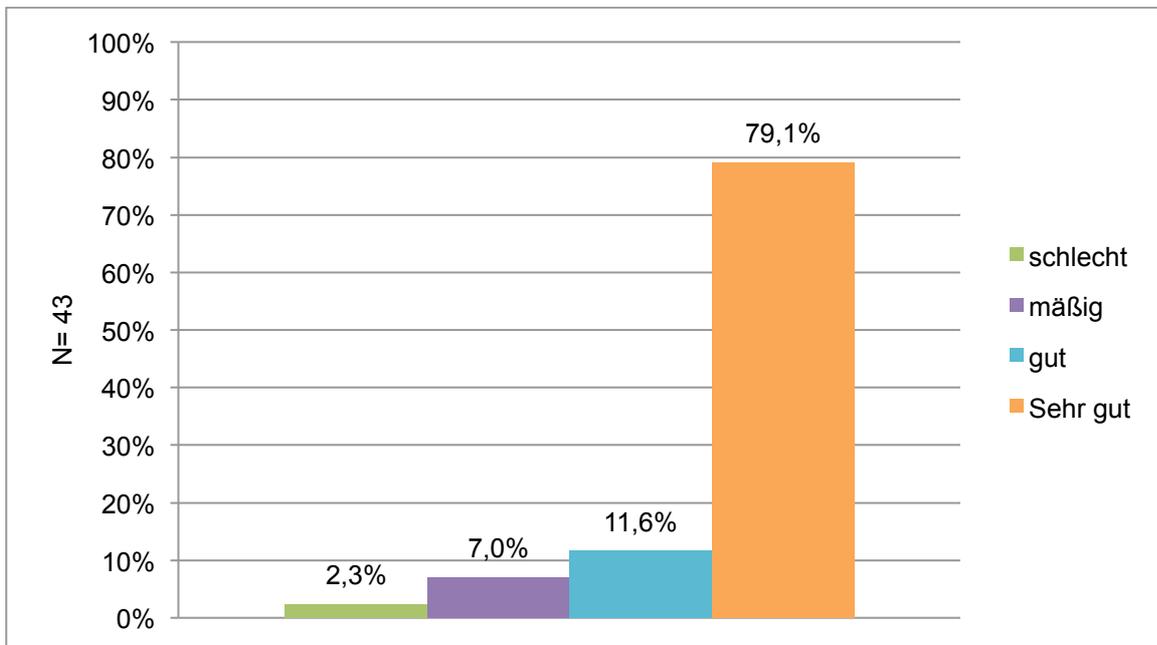


Diagramm 6: Lysholm-Gesamtscore des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten

90,7 % (39/43) aller Healing Response Patienten wiesen ein gutes (11,6 %) bis sehr gutes (79,1 %) Ergebnis im Lysholm-Score auf. 7 % (3/43) wiesen ein mäßiges Ergebnis auf und ein Patient (2,3 %) hatte einen schlechten Lysholm-Score (Diagramm 6). Der Patient mit dem schlechten Lysholm-Score Ergebnis wies im Vergleich zum Restkollektiv signifikant schlechtere Werte bezüglich der Instabilität (10 von 30 Punkten) und Schmerzen (15 von 30 Punkten) auf. In der vorliegenden Arbeit galt das besondere Interesse den Faktoren subjektives Instabilitätsgefühl, Schmerzen und Schwellung, weil sie die Lebensqualität am stärksten beeinträchtigen können.

86 % (37/43) der Patienten gaben an, kein oder nur ein minimales Instabilitätsgefühl beim Gehen zu haben (Diagramm 7).

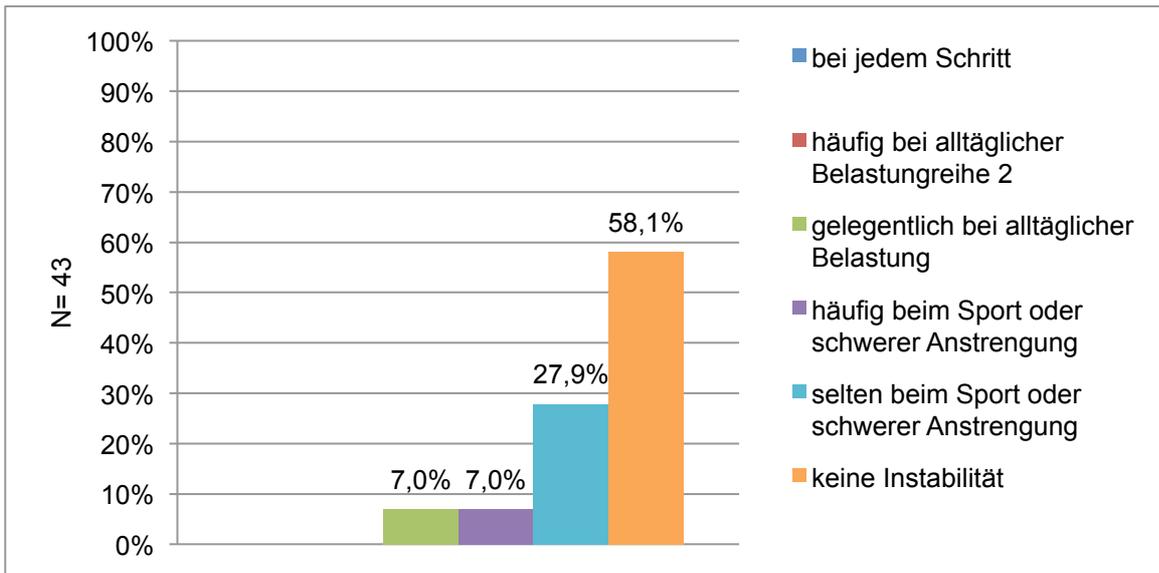


Diagramm 7: Lysholm-Instabilitäts-Score des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten

95,3 % der Patienten (41/43) gaben keine oder nur minimale, intermittierende Schmerzen des operierten Knies an (Diagramm 8).

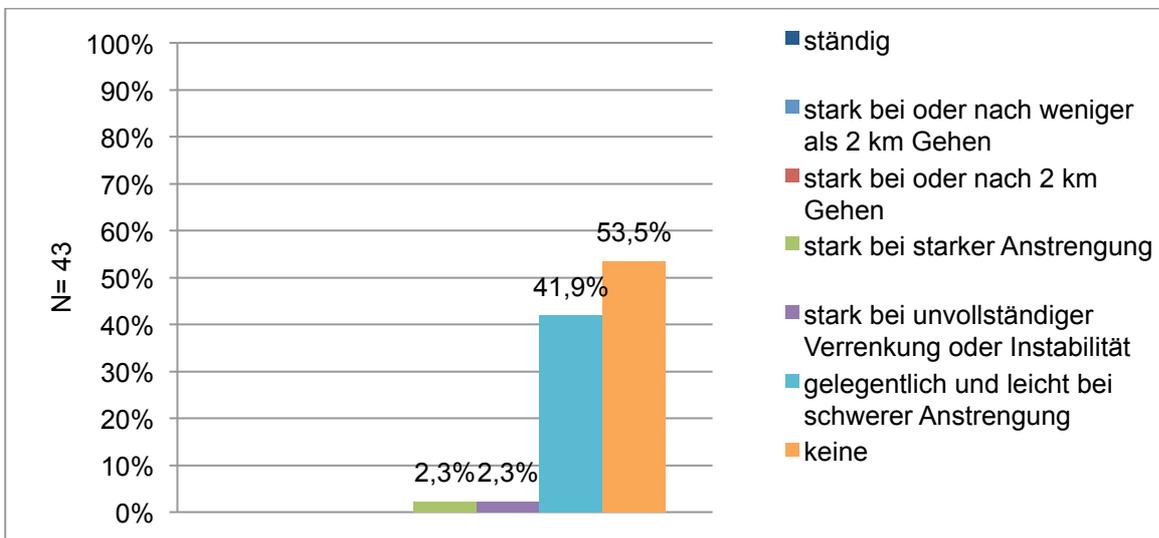


Diagramm 8: Lysholm-Schmerzen des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten

4,6 % der Patienten gaben hier weiterhin persistierende Beschwerden im Alltag an. 90,7 % (39/43) der Patienten gaben an, dass das Knie nie oder nur selten minimal geschwollen sei (Diagramm 9).

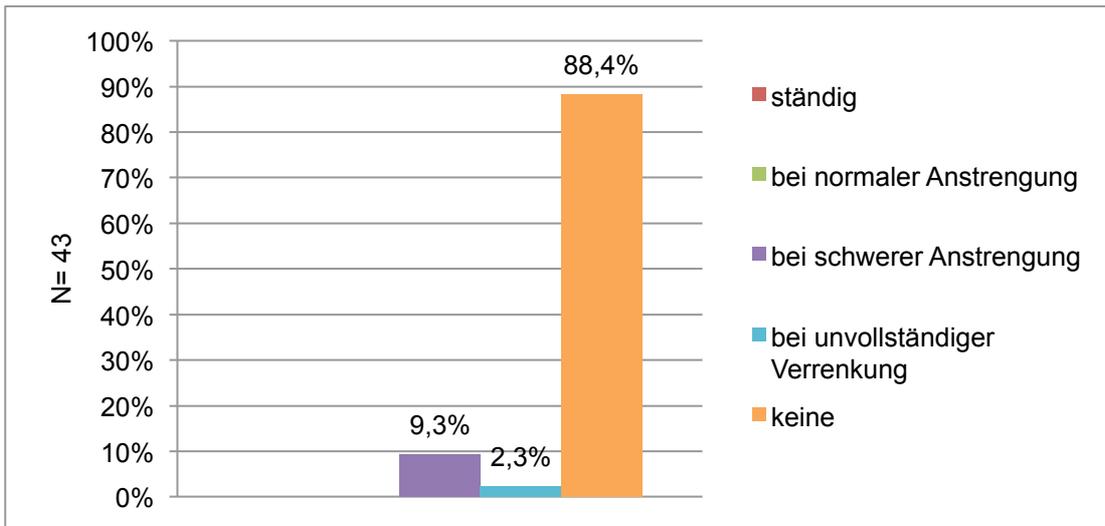


Diagramm 9: Lysholm-Schwelligkeit des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten

93 % aller Healing Response Patienten hatten keine Schwierigkeiten beim Treppensteigen, 98 % keine Probleme beim Gehen. Das Hocken war für 74 % aller Healing Response Patienten problemlos möglich. 23,3 % gaben hier leichte Probleme an und ein Patient gab an, bei Belastung das Knie nicht über 90° beugen zu können. Kein einziger HR Patient hat Gehhilfen benötigt.

Bei 93 % aller Patienten war keine Oberschenkelmuskelatrophie nachweisbar. Bei 7 % der Patienten war eine geringgradige Atrophie von 1-2 cm nachweisbar.

3.2.2 Ergebnisse des Tegner-Aktivitäts-Score

Der durchschnittliche Tegner-Aktivitäts-Score lag vor der Verletzung bei 5.5/10 (± 2 ; Minimum: 1; Maximum: 10; Median: 6) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung bei 4.8/10 (± 1.9 ; Minimum: 1; Maximum: 10; Median: 5). 31 von 43 Healing Response Patienten hatten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau wieder erreicht (Diagramm 10).

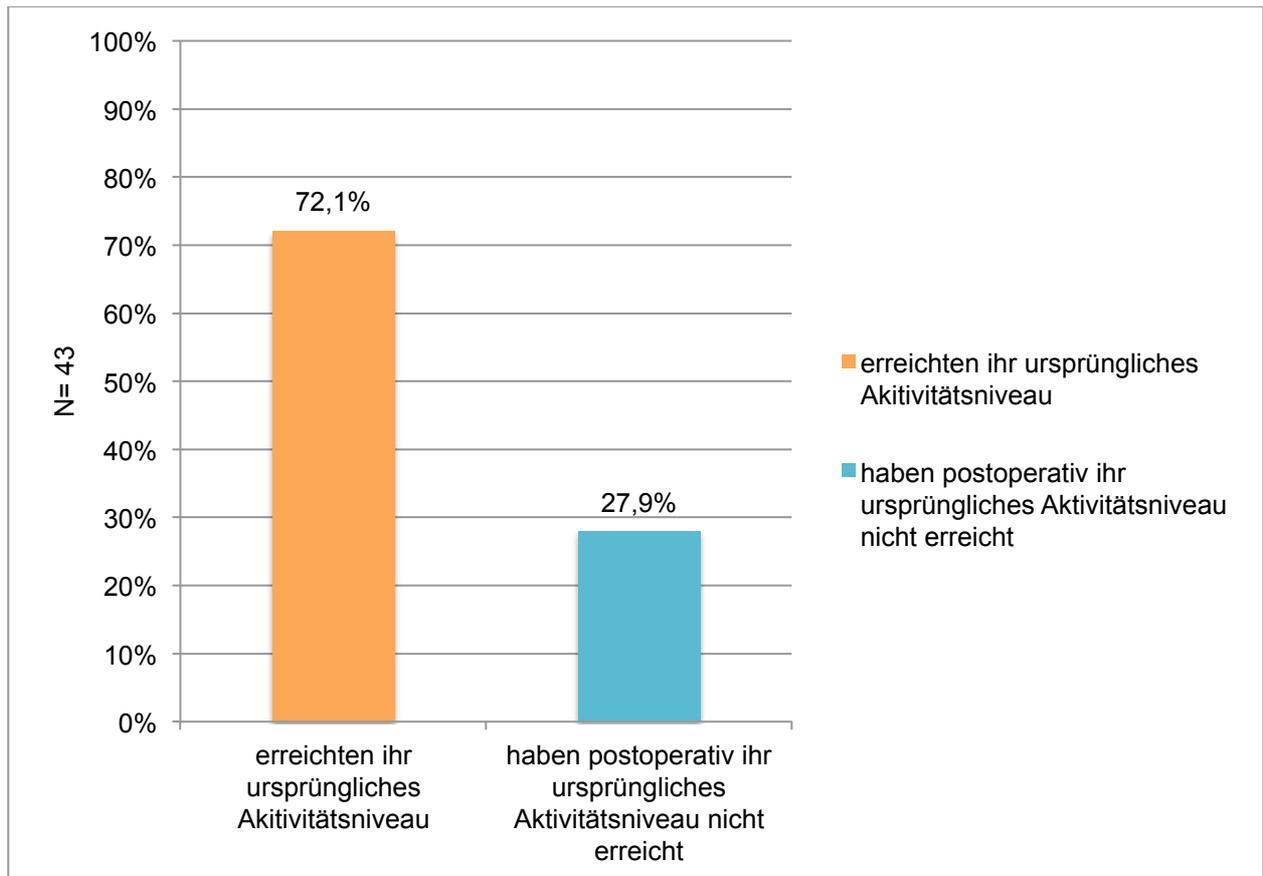


Diagramm 10: Postoperatives Tegner-Aktivitätsniveau von 43 Healing Response Patienten

3.2.3 Ergebnisse des IKDC 2000 Evaluationsbogen

3.2.3.1 Gesamtergebnisse des IKDC 2000 Evaluationsbogen

N= 43	
A= normal	90,7 % (39/43)
B= fast normal	4,7 % (2/43)
C= abnormal	4,7 % (2/43)

Tabelle 7: Gesamtergebnis des International Knee Documentation Committee 2000 Evaluationsbogens

Die Gesamtergebnisse des IKDC 2000 Score Evaluationsbogen zur Knieuntersuchung lassen sich Tabelle 7 entnehmen. Die beiden Patienten mit dem abnormalen IKDC Gesamtergebnis wiesen beide signifikante, pathologische Werte bezüglich der vorderen, tibialen Translation auf.

3.2.3.2 Hauptgruppe A- Erguss

Das Healing Response Kollektiv zeigte zu 100 % keine Ergussbildung im Knie zum Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung.

3.2.3.3 Hauptgruppe B- Aktive und passive Bewegungsausmaße der Knie

N= 43	
Seite	Extension/Flexion
Gesunde Seite passiv	0°-0°-140° (±6,7°)
Gesunde Seite aktiv	0°-0°-132° (±5,8°)
Operierte Seite passiv	0°-0°-132° (±5,5°)
Operierte Seite aktiv	0°-0°-140° (±6,5°)

Tabelle 8: Durchschnittliche Extension/Flexion des Knies zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

Kein Patient wies ein pathologisches Beuge- oder Streckdefizit auf. Eine Patientin konnte im Bereich beider Knie weichteilbedingt nicht mehr als 120° flektieren.

3.2.3.4 Hauptgruppe C- Ligamentuntersuchung

N= 43				
IKDC 2000 Bewertung	A	B	C	D
	1-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 10 mm
Lachman-Test	95,3 %	0 %	4,7 %	0 %
	fest		unsicher	
Vorderer Endpunkt	95,3 %		4,7 %	
	0-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 10 mm
Vorderer Schubladen-Test (70 °)	95,3 %	2,3 %	2,3%	0 %
	0-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 10 mm
Hinterer Schubladen-Test (70 °)	100 %	0 %	0%	0 %
	0-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 10 mm
Mediales Kollateralband	100 %	0 %	0%	0 %
	0-2 mm	3-5 mm	6-10 mm	> 10 mm
Laterales Kollateralband	100 %	0 %	0 %	0%
	< 5 °	6-10 °	11-19 °	> 20 °
Außenrotationstest (30 °)	100 %	0 %	0 %	0 %
	< 5 °	6-10 °	11-19 °	> 20 °
Außenrotationstest (90 °)	100 %	0 %	0 %	0 %
	gleich	+	++	+++
Pivot-Shift-Test	95,3 %	2,3 %	2,3 %	0 %

Tabelle 9: Ergebnisübersicht der International Knee Documentation Committee 2000 Ligamentuntersuchung

Beim manuellen Lachman-Test wiesen 95,3 % (41/43) der Patienten einen festen, vorderen Anschlag mit einer anterioren, tibialen Translation von 1-2 mm auf. 4,7 % (2/43) der Patienten zeigten keinen festen, vorderen Anschlag mit einer anterioren Translation von 6-10 mm. Diese zeigten auch einen pathologischen Schubladen-Test bei 70° und einen pathologischen Pivot-Shift-Test. Bei keinem Patienten war eine Insuffizienz von medialem/lateralem Kollateral- oder hinterem Kreuzband nachweisbar.

3.2.4 Ergebnisse der KT-1000 Arthrometer™ Messung

Die durchschnittliche anteriore, tibiale Translation im Seitenvergleich lag in der Arthrometer Messung mit 134 N bei 1,1 mm (± 1 ; Minimum: 0 mm; Maximum: 4 mm; Median: 1 mm). Im Manual-Maximum-Displacement-Test lag die durchschnittliche anteriore, tibiale Translation bei 1,3 mm ($\pm 1,6$; Minimum: 0mm; Maximum: 8 mm; Median: 1 mm). Über 90 % aller Healing Response Patienten wiesen in der KT-1000™ Messung mit 134 N Zugkraft und im Manual-Maximum-Displacement-Test eine vordere Translation von weniger als 3 mm im Seitenvergleich auf (Tab.10).

N= 43		
Vordere Translation	Kleiner als 3 mm	Gleich/Größer als 3mm
KT-1000™ Messung mit 134 N	90,7 % (39/43)	9,3 % (4/43)
Manual-Maximum-Displacement-Test	90,7 % (39/43)	9,3 % (4/43)

Tabelle 10: Ergebnisse der KT-1000™ Messung

3.2.5 Spezieller Fragebogen zur subjektiven Zustandsbeurteilung

3.2.5.1 Schäden im Bereich des kontralateralen Knies

Nur 1/5 aller Patienten berichteten über bekannte kontralaterale Knieschäden. Klinisch dokumentiert waren diese zum Teil nicht (Tab.11).

N= 43	
Schäden	Keine Schäden
20,9 % (9/43)	79,1 % (34/43)

Tabelle 11: Vorhandensein von kontralateralen Knieschäden

3.2.5.2 Sensibilitätsdefizite

Fast 4/5 aller Patienten gaben an nach Healing Response Operation keine Sensibilitätsstörungen im Operationsbereich zu haben (Tab.12).

N= 43						
im Bereich der Narben	nur oberhalb der Narben	nur unterhalb der Narben	im seitlichen Kniebereich außen	im seitlichen Kniebereich innen	am gesamten Knie	keine Störungen
7 % (3/43)	0 %	4,7 % (2/43)	4,7 % (2/43)	4,7 % (2/43)	0 %	79,1 % (34/43)

Tabelle 12: Lokalisierung von möglichen Sensibilitätsdefiziten

3.2.5.3 Unsachgemäße Belastung während der Rehabilitationsmaßnahmen

4,7 % (2/43) der Patienten gaben an, in der Rehabilitationsphase bis ca. 2 Jahre nach Operation einmalig relativ stark auf das operierte Knie gefallen zu sein. Ein Patient (2,3 %) gab an, sich beim Fußballspielen das Knie besonders stark angestoßen zu haben, 14 % (6/43) der Patienten sind besonders stark weggerutscht und einem Patienten (2,3 %) hat jemand gegen das Knie getreten. 4,7 % (2/43) der Patienten gaben Kombinationsmechanismen an.

3.2.5.4 Mögliche Probleme bei Alltagsaktivitäten

N= 43					
Aktivität	Überhaupt nicht schwierig	Minimal schwierig	Ziemlich schwierig	Extrem schwierig	Unmöglich
Treppen steigen	88,4 % (38/43)	11,6 % (5/43)	0 %	0 %	0 %
Treppen hinuntergehen	90,7 % (39/43)	9,3 % (4/43)	0 %	0 %	0 %
Knien	60,5 % (26/43)	32,6 % (14/43)	4,7 % (2/43)	2,3 % (1/43)	
Hockstellung	60,5 % (26/43)	32,6 % (14/43)	7 % (3/43)	0 %	0 %
Normal sitzen	97,7 % (43/43)	2,3 % (1/43)	0 %	0 %	0 %
Vom Stuhl aufstehen	93 % (40/43)	7 % (3/43)	0 %	0 %	0 %
Geradeaus laufen	97,7 % (42/43)	2,3 % (1/43)	0 %	0 %	0 %
Hochspringen und auf einem Bein landen	76,7 % (33/43)	16,3 % (7/43)	2,3 % (1/43)	4,7 % (2/43)	0 %
Gehen: Start-Stop-Start	76,7 % (33/43)	23,3 % (10/43)	0 %	0 %	0 %

Tabelle 13: Mögliche Probleme bei Alltagsaktivitäten

Aus Tabelle 13 geht hervor, dass in jeder Kategorie über 90 % aller HR Patienten überhaupt keine, oder nur minimale Schwierigkeiten hatten. Beim Hocken, Knien und bei der koordinativ anspruchsvollen Aufgabe des Stabilisierens auf einem Bein nach einem kleinen Sprung fielen jeweils 7 % der Patienten mit Schwierigkeiten auf.

3.2.5.5 Aktuelle und prätraumatische Kniefunktion

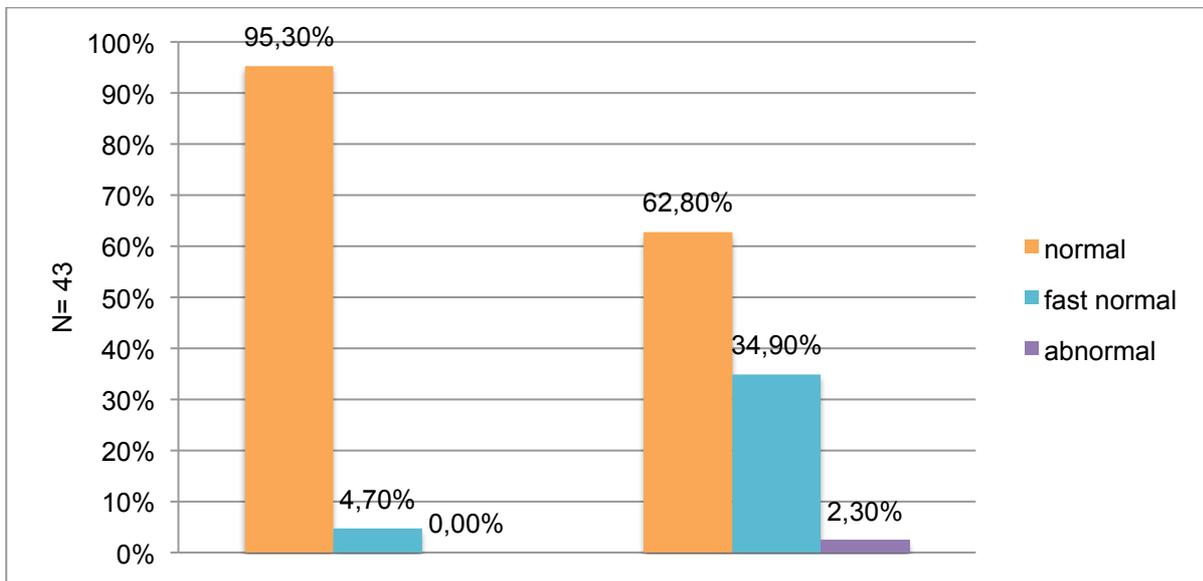


Diagramm 11: Kniefunktion vor der Verletzung (links) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (rechts)

Diagramm 11 zeigt die Häufigkeitsverteilung bezüglich der Einschätzung der subjektiven Kniefunktion vor der Verletzung und zum Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung. Aus dem Diagramm geht nicht hervor, wie die individuellen Differenzen von prä- zum postoperativen Zustand waren. In Diagramm 12 sind die ausgerechneten Differenzen dargestellt. Es wird quantifiziert, um wie viel sich ein Patient verbessert oder verschlechtert hat. Plus 1 zum Beispiel heißt, dass ein Patient vorher eine fast normale Kniefunktion hatte und nach der Operation eine normale Funktion. Minus 2 bedeutet, dass das Knie vorher als normal eingeschätzt wurde und zum Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung als abnormal gewertet wurde. Die Kniefunktion wurde wie folgt definiert:

- Normale Kniefunktion: Die Vollbelastung des Knies ist im Alltag und Sport ohne Probleme möglich. Das Aktivitätsniveau ist wie vor der Kreuzbandruptur.
- Fast normale Kniefunktion: Die Vollbelastung des Knies ist im Alltag und Sport mit minimalen Beeinträchtigungen (Schmerzen, Schwellung) möglich. Das Aktivitätsniveau ist leicht reduziert im Vergleich zum Zustand vor der Kreuzbandruptur.

- Abnormal: Es ist keine Vollbelastung des Knies im Alltag und im Sport möglich. Das Aktivitätsniveau ist deutlich reduziert im Vergleich zum Zustand vor der Kreuzbandruptur.

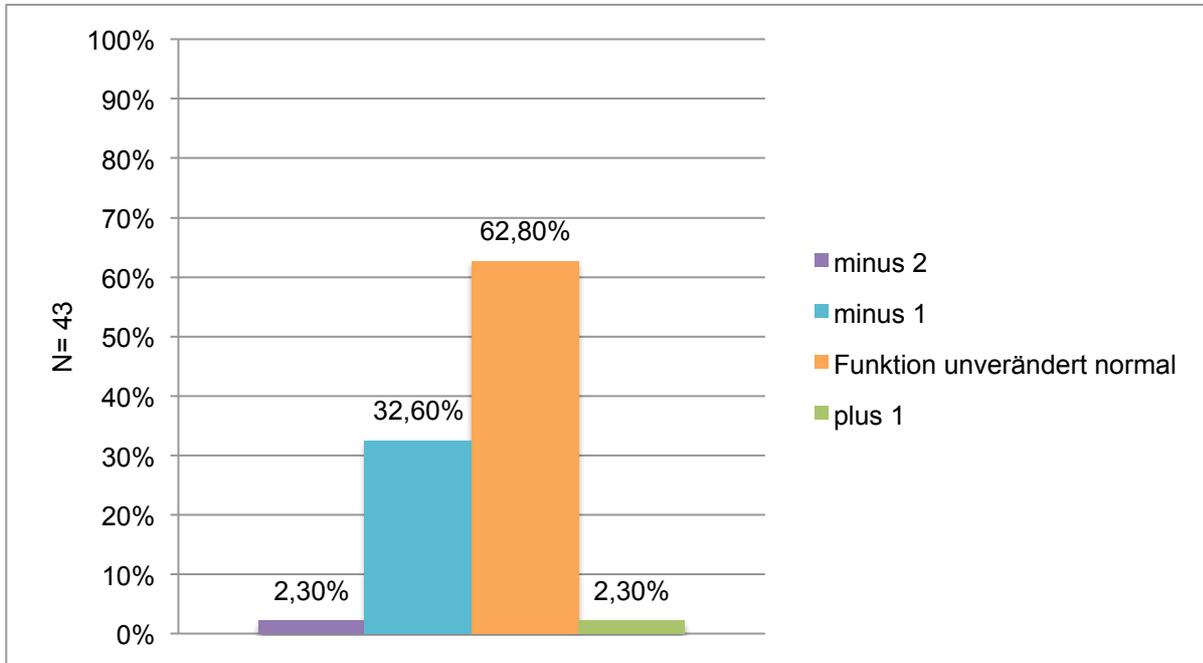


Diagramm 12: Differenz der subjektiven Kniefunktion prä- und postoperativ

65,1% (28/43) der Patienten gaben bei der Follow-Up Untersuchung an, eine mindestens genauso gute, normale Kniefunktion wie vor dem Unfall zu haben. 34,9 % (15/43) gaben eine Verschlechterung der Kniefunktion an. Dennoch schätzten 34,9 % ihre Kniefunktion als fast normal ein. Nur ein Patient (2,3 %) fiel hier mit einer deutlichen Verschlechterung auf und gab eine abnormale, postoperative Kniefunktion an.

3.2.5.6 Gesamtbeurteilung der Behandlung

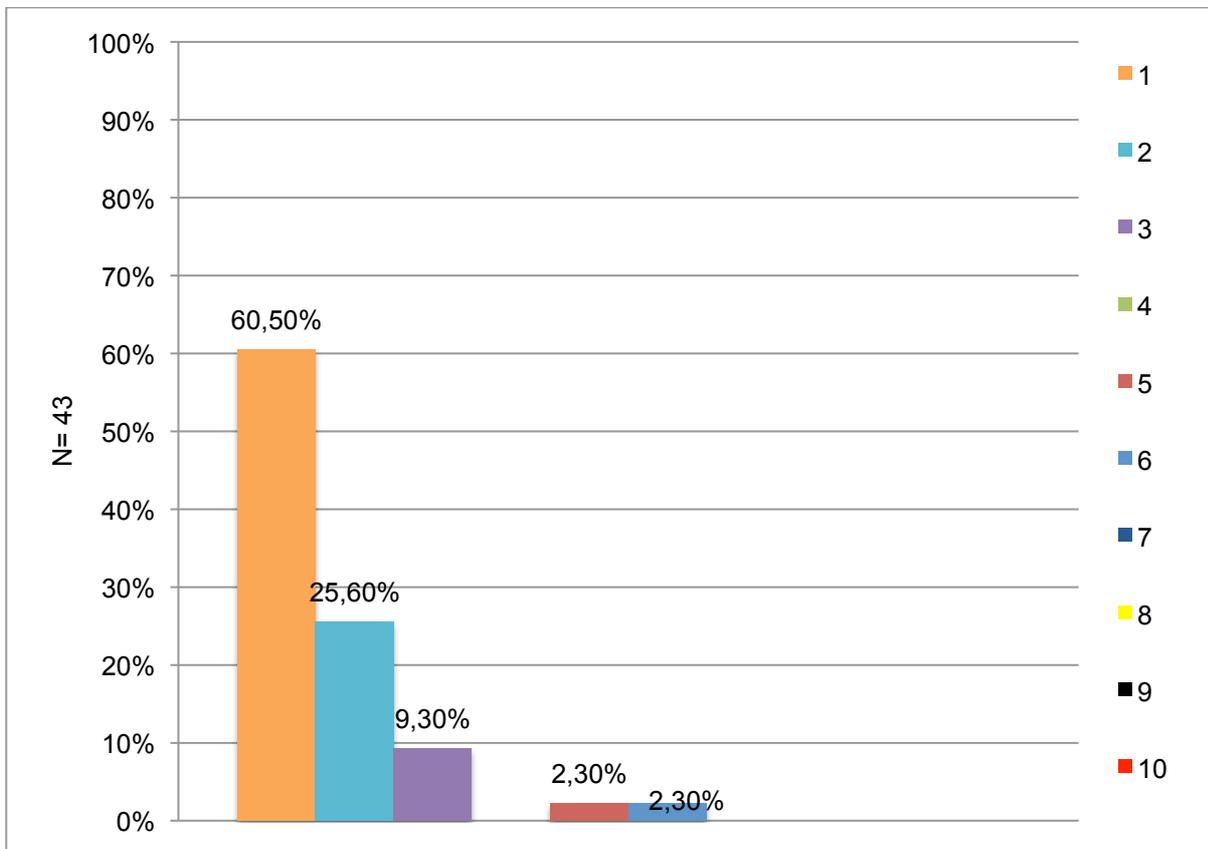


Diagramm 13: Gesamtzufriedenheit der Behandlung 1= sehr gut, 10= sehr schlecht

Die Gesamtbehandlung bewerteten 95,4 % (37/43) der HR Patienten mit gut bis sehr gut (Mittelwert: 1,7; Minimum: 1; Maximum: 6; Median: 1) und waren sehr zufrieden. 4,6 % (2/43) der Patienten waren im befriedigenden Bereich einzuordnen.

4. Diskussion

4.1 Literatúrauswahl

Zum Zeitpunkt des Erstellens dieser Arbeit waren vier weitere Healing Response Studien publiziert, die eine eingeschränkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse ermöglichten, weil sie entweder stark altersselektiert waren oder nur kurz- bis mittelfristige Ergebnisse zeigten.

- Steadman et al. veröffentlichten 2002 erstmals Studienergebnisse über die Healing Response Technik des vorderen Kreuzbandes. Der Altersdurchschnitt betrug 50 Jahre (N= 169) mit einer durchschnittlichen Follow-Up Zeit von 3,4 Jahren. Einschlusskriterium der Studie war ein proximal gerissenes, vorderes Kreuzband, das innerhalb von 6 Wochen nach Trauma in Healing Response Technik operiert worden ist. Ausschlusskriterien waren Partialrupturen, VKB Läsionen im mittleren und distalen Bereich und Patientenalter jünger als 40 Jahre zum Zeitpunkt der Operation. Weiterhin musste die Healing Response Operation mindestens 2 Jahre zurück liegen. Dieselbe Arbeitsgruppe veröffentlichte 2006 eine weitere Studie, in der es um Leistungssportler zwischen 10 und 16 Jahren mit offenen Wachstumsfugen ging, die sich eine proximale, vordere Kreuzbandruptur zugezogen hatten. Ziel der Studie war es zu zeigen, dass auch sehr junge Patienten von der Healing Response profitieren können. Ausschlusskriterien waren hier vorangegangene Läsionen des VKB, weitere Kniepathologien und Läsionen im mittleren und distalen Bereich des VKB. Einschlusskriterien waren offene Wachstumsfugen, eine proximale Ruptur im 1/3 Bereich des VKB und vorherige Healing Response Operationen. Das Durchschnittsalter des Kollektivs lag hier bei 13,8 Jahren zum Zeitpunkt der Operation. Die durchschnittliche Follow-Up Zeit lag bei 5,8 Jahren. 2012 erfolgte eine weitere Studie von Steadman et al., in der es wieder um ältere Patienten über 40 Jahre ging, die in Healing Response Technik operiert worden sind. Das Durchschnittsalter betrug hier 51 Jahre (N= 48). Die durchschnittliche Follow-Up Zeit lag bei 7,6 Jahren. Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen denen der Studie aus dem Jahr 2002.

- Wasmaier et al., verglichen 2013 ein Kollektiv aus 30 Patienten, das in Healing Response Technik operiert worden ist, mit einer Kontrollgruppe aus konservativ behandelten Patienten. Einschlusskriterien waren proximale Total- und Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes im Bereich des ersten 1/3. Ausschlusskriterien waren vorherige Läsionen des VKB, Läsionen im mittleren und distalen Bereich des VKB, Meniskuskorbhenkelrisse, vorherige Knieoperationen und ausgeprägte 3°-4° Knorpelschäden des Knies. Das Durchschnittsalter des Healing Response Kollektivs betrug 34,3 Jahre. Die durchschnittliche Follow-Up Zeit lag bei 4,3 Jahren.

4.2 Diskussion und Vergleich der Studienergebnisse

Es wird seit Jahren kontrovers darüber diskutiert, ob das vordere Kreuzband nach akuter, proximaler Ruptur und Versorgung in Healing Response Technik histologisch komplett an seinen Ursprung einwächst oder nicht. Einer der Hauptkritikpunkte ist die mögliche Bildung einer insuffizienten Narbe mit stark erhöhter Rerupturgefahr. Nach wie vor ist der Goldstandard der VKB Ruptur die Versorgung mit einem autologen Transplantat (Duiquin et al., 2009, Mihelic et al., 2011; Reinhardt et al., 2010). Mit einem Durchschnittsalter von 36,6 Jahren zum Operationszeitpunkt lag das klinisch nachuntersuchte Kollektiv dieser Studie in Bezug auf das Alter in der Hauptrisikogruppe für mögliche Kreuzbandverletzungen (Janssen et al., 2013). Mit einem durchschnittlichen, prätraumatischem Tegner-Score von 5.5 zeigte unser Kollektiv ein hohes freizeitsportliches Aktivitätsniveau, das im Durchschnitt der Normalpopulation lag (Briggs et al., 2009). Vergleichbare Studien wurden bisher nur von Steadman (2002, 2006, 2012) und Wasmaier et al. (2013) durchgeführt. Ein Vergleich der wichtigsten Untersuchungsergebnisse ist in Tab.14 dargestellt.

Die von Steadman et al. untersuchten Kollektive waren in Bezug auf das Alter jedoch stark selektiert. Es wurden nur ältere Patienten über 40 (2002, 2012) oder Patienten mit offenen Wachstumsfugen (2006) nachuntersucht. Das Studienkollektiv von Wasmaier und Mitarbeitern war in Bezug auf das Alter mit 30,5 Jahren zum Operationszeitpunkt mit dem Kollektiv dieser Arbeit vergleichbar. Die Studien von Steadman und Mitarbeitern zeigten gute bis sehr gute klinische Ergebnisse in Bezug auf Kniefunktion, Schmerzen, Schwellung und Instabilität (durchschnittlicher Lysholm-Score der Steadman HR

Studien: 93/100 Punkte). Im Gegensatz zu Steadman et al. wurde in dieser Studie nicht der posttraumatische, präoperative Tegner-Aktivitäts-Score erhoben, der in der Regel deutlich schlechter als der nach operativer Versorgung ist, sondern es wurde nach dem sportlichen Aktivitätsniveau vor dem Unfall gefragt. Dieses wurde bei der Follow-Up Nachuntersuchung von 72 % der Patienten wieder erreicht. Mit den publizierten Werten von den Steadman et al. Studien ließ sich dieser Wert nicht valide vergleichen.

	Jorjani, 2012	Steadman et al., 2002	Steadman et al., 2006	Steadman et al., 2012	Wasmaier et al., 2013
N	43	169	13	48	30
Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Follow-Up (Jahre)	42,5	50	Nicht verfügbar (Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der OP: 13,8 Jahre)	51	34,3
Durchschnittliche Follow-Up Zeit (Jahre)	6,3	3,4	5,8	7,6	4,3
Durchschnittlicher Lysholm-Score (Punkte)	92	94	96	90	91
Durchschnittlicher Tegner-Score zum Zeitpunkt des Follow-Up (Punkte)	4,8	Nicht verfügbar	8,5	5	5,7
Durchschnittliche vordere, tibiale Translation (KT-1000™; Manual Maximum Displacement Test) (mm)	1,3	1,9	2,6	Nicht verfügbar	2,65 (gemessen mit einem Kneelax-3-Arthrometer)

Tabelle 14: Vergleich der bisher veröffentlichten Healing Response Studienergebnisse

Wasmaier et al. verglichen 2013 ein Healing Response (HR) Kollektiv mit einem korrespondierenden konservativ behandelten Kollektiv (KB) und zeigten keine signifikanten Unterschiede im klinischen Outcome. Beide Kollektive zeigten nach einer durchschnittlichen Follow-Up Zeit von 4,3 Jahren einen durchschnittlichen Lysholm-Score von 91 (HR) bzw. 90 (KB) und einen postoperativen Tegner-Score von 5,67 (HR)

und 5.11 (KB), wobei der Tegner-Score prätraumatisch bei 6.78 (HR) und 6.00 (KB) lag und beide Kollektive somit ihr postoperatives Aktivitätsniveau deutlich gesenkt hatten.

In der instrumentellen Messung zeigten alle HR Studien bisher Werte von unter 3 mm Seitendifferenz. Dies spricht nach Bach et al. (1990) für eine normwertige vordere, tibiale Translation. Die Revisionsrate bezüglich der sekundären Kreuzbandplastik lag in den Studien von Steadman et al. zwischen 2,6 % (2002) und 23 % (2006). Wasmaier et al. zeigten 2013 eine Revisionsrate von 36 % (N= 30). In der vorliegenden Arbeit lag sie bei 24,6 % (31/126) bis zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung. In der IKDC 2000 Beurteilung der Kniefunktion wiesen 90,7 % der untersuchten Patienten eine normale Kniefunktion auf. Vergleichswerte ließen sich hierzu nicht eruieren. Das entsprach auch ihrer subjektiven Einschätzung, denn 97,7 % gaben zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung an eine normale oder fast normale Kniefunktion zu haben.

In allen bisher veröffentlichten Healing Response Studien zeigten sich die Patienten sehr zufrieden in Bezug auf Gesamtbehandlung und Krankheitsverlauf (Tab.15).

Jorjani, 2012	95,4 % empfanden die Gesamtbehandlung als gut bis sehr gut; 97,7 % bezeichneten ihre postoperative Kniefunktion als normal oder fast normal
Steadman et al., 2002	Die durchschnittliche Patientenzufriedenheit lag bei 9,1/10 wobei 10 den Maximalwert der Zufriedenheit angab; 94 % beschrieben ihre postoperative Kniefunktion als normal oder fast normal
Steadman et al., 2006	Die durchschnittliche Patientenzufriedenheit lag bei 9,9/10 wobei 10 den Maximalwert der Zufriedenheit angab
Steadman et al., 2012	Die durchschnittliche Patientenzufriedenheit lag bei 10/10 wobei 10 den Maximalwert der Zufriedenheit angab
Wasmaier et al., 2013	Die durchschnittliche Patientenzufriedenheit lag bei 8,5/10 wobei 10 den Maximalwert der Zufriedenheit angab

Tabelle 15: Vergleich der Patientenzufriedenheit aller Healing Response Studien

In Tab.16 sind die mittel- bis langfristigen Healing Response Ergebnisse dieser Arbeit denen von autologen Kreuzbandplastiken gegenübergestellt.

	Jorjani, 2012	Ahn et al., 2012	Janssen et al., 2013	Bourke et al., 2012
Vergleich HR vs. VKB Rekonstruktion	HR	VKB Rekonstruktion	VKB Rekonstruktion	VKB Rekonstruktion
N	43	117	86	152
Durchschnittsalter zum Zeitpunkt des Follow-Up (Jahre)	42,5	39,5	≈40,2	Nicht verfügbar
Operationsmethode	HR	VKB Rekonstruktion mit BTB Transplantat	VKB Rekonstruktion Hamstring Transplantat	VKB Rekonstruktion mit Hamstring Transplantat
Durchschnittliche Follow- Up Zeit (Jahre)	6,3	10,3	10	15
Durchschnittlicher Lysholm-Score (Punkte)	92	88,5	95	93
Durchschnittlicher Tegner- Score zum Zeitpunkt des Follow-Up (Punkte)	4,8	6,2	6	Nicht verfügbar
Durchschnittliche vordere, tibiale Translation (KT- 1000™; Manual- Maximum- Displacement- Test) (mm)	1,3 ±1,6	1,6 ±1,7	2,3 ±2,9	männlich 1,6 ±1,9* weiblich 1,9 ±1,8*
IKDC 2000 Score– nur A und B Bewertungen	90,7 % A	59,8 % A 34,1 % B	23,3 % A 52,3 % B	51 % A** 42 % B**

Tabelle 16: Healing Response versus autologe Kreuzbandplastik im Vergleich

*durchschnittlicher Wert aller Nachuntersuchungsreihen

**auf 114 Patienten bezogen

Grundsätzlich sind die Ergebnisse der HR nicht mit denen der autologen Kreuzbandplastik vergleichbar. Unterschiedliche Indikationsstellung, unterschiedliche Kollektivgrößen, sich unterscheidende Biomechanik, divergierende Nachuntersuchungszeiträume sowie gegebenenfalls zu berücksichtigende Begleitverletzungen stellen Schwierigkeiten dar. Beide Methoden zeigen in den in Tabelle 14 dargestellten Ergebnissen klinisch objektivierbare, stabile Resultate mit vorderen Translationswerten von unter 3 mm (Bach et al., 2010).

Alle Kollektive zeigen weiterhin gute bis sehr gute Resultate im Lysholm-Score, ein durchschnittlich hohes freizeithliches Aktivitätsniveau und überwiegend normale bis fast normale Resultate im IKDC 2000 Evaluationsbogen, wobei in den Kreuzbandstudien unter anderem auch die Röntgenaufnahmen befundet worden sind und viele Knie arthrotische Veränderungen aufwiesen, die zwangsläufig zu einem schlechteren IKDC 2000 geführt haben und die Ergebnisse mit dieser Arbeit nicht vergleichbar sind.

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes führt nicht nur zu einer mechanischen Destabilisierung des Kniegelenks, sondern durch eine signifikante Minderung der Propriozeptoren (Barrack et al., 1990; Grigg et al., 1977, Johansson et al., 1991a, 1991b; Zimny et al., 1986) auch zu einer funktionellen Instabilität wie Dhillon et al. 2011 in einer Metaanalyse gezeigt haben. Scheffler et al. haben 2008 in einer Übersichtsarbeit gezeigt, dass bei durchgeführter Kreuzbandplastik eingebrachte autologe Transplantate selbst nach Jahren nicht in biomechanischer Hinsicht dem nativen, vorderen Kreuzband entsprechen. Ziel der Versorgung der vorderen Kreuzbandruptur muss die biomechanische und funktionale Wiederherstellung der ursprünglichen anatomischen Strukturen sein. Das ist auch das Prinzip der Healing Response. Murray et al. haben in multiplen Studien (2006, 2007a, 2007b, 2009) gezeigt, dass das vordere Kreuzband ein geringes Selbstheilungspotential hat. Die hypothetische Ursache der fehlenden intrinsischen Heilung des vorderen Kreuzbandes ist laut Murray die fehlende Bildung eines Fibrin-Blutplättchen Propfens zwischen den gerissenen Bandenden. Dieses gilt als Grundgerüst für die Immigration von Stammzellen, Wachstumsfaktoren, Cytokinen und Enzymen, welche für die Wundheilung essentiell sind. Die fehlende Bildung eines Fibrin-Blutplättchen Propfens sei vermutlich auf die von Rosc et al., 2002 nachgewiesene intraartikuläre, posttraumatische Expressionserhöhung des Urokinase Plasminogen Aktivators und

somit der Konzentration des intraartikulären Plasmins zurückzuführen. Einerseits wird dadurch das Arthrofibrosierisiko reduziert, andererseits aber auch signifikant die intraartikuläre Fibrinkonzentration (Murray et al., 2009). In extraartikulären Bändern wie beim medialen Kollateralband lassen sich diese Beobachtungen nicht reproduzieren. Hier kommt es posttraumatisch zur stabilen Bildung eines Fibrin-Plättchen Propfens und klinisch in der Regel nach 6 wöchiger Schienung zur vollständigen Heilung der gerissenen Strukturen (Laprade et al., 2012; Murray et al., 2009; Woo et al., 2000). Matsumoto et al. haben 2012 gezeigt, dass sich nach Kreuzbandruptur im Wundbereich eine signifikante Erhöhung von CD34+ und CD146+ Zellen nachweisen lässt. Diese Zellen haben ein multilineares Differenzierungspotential und wären hiermit zur intrinsischen Heilung der Defektzone fähig. Steinert et al. demonstrierten 2011 ebenfalls eine erhöhte Konzentration differenzierungsfähiger Stammzellen im Bereich von Kreuzbanddefektzonen, die zur intrinsischen Heilung fähig wären. Murray et al. haben in Tierversuchen an Schweinen und Kaninchen gezeigt (2007, 2006), dass das Einbringen eines PRP (collagen-platelet-rich-plasma) Gerüsts in iatrogen induzierten VKB Defekten zu einer beschleunigten und deutlich verbesserten histologischen Heilung der Defektzone führte. Die mechanische Bandstärke lag vier Wochen nach operativem Eingriff bei über 50 % des nativen, unverletzten Kreuzbandes. Agung et al. zeigten 2006 im Tierversuch, dass sich nach intraartikulärer Injektion von mesenchymalen Stammzellen (MSCs) diese in den iatrogen induzierten Knorpel-, Meniskus und Kreuzbandverletzungen nachweisen ließen. Weiterhin zeigten sich Anzeichen für deren Beteiligung an der Geweberegeneration. Die von Steadman et al. auf den Prinzipien der Mikrofrakturierung (2001, 2003) basierende Healing Response Technik basiert auf denselben Konzepten. Essentieller Unterschied ist, dass hierzu keine extrinsischen Faktoren in das Knie eingebracht werden, sondern durch die Mikrofrakturierung eine intrinsische Heilung angeregt wird. Bei lokalen 4° Knorpelläsionen (nach Outerbridge) des Knies und nach Mikrofrakturierung zeigten Steadman et al. (2001, 2003) das auf Knochenmarksstammzellen zurückführbare, hohe intrinsische Heilungspotential des Kniegelenks. Durch Induktion von Blutungen aus dem Knochenmark im Bereich der femoralen Anheftungsstelle des vorderen Kreuzbandes und im Bereich von Kreuzbandrupturstelle und Synovialschlauch wird der Austritt von Fibrin, Blutplättchen, Enzymen, Wachstumsfaktoren und MSCs gefördert, die einen stabilen Blut-Zellkuchen

bilden sollen (Steadman et al., 2012). Dieser soll als Baugerüst der intrinsischen Heilung dienen. Rodkey et al. zeigten 2006 in Tierversuchen nach iatrogen induzierten Verletzungen des hinteren Kreuzbandes und Versorgung mit HR eine deutliche Erhöhung der Zelldichte und eine organisiere extrazelluläre Matrix im Vergleich zum Kontrollkollektiv ohne Healing Response. In dieser Studie wurden 24,6 % (31/126) des Gesamtkollektivs im Verlauf mit einer Kreuzbandplastik versorgt. Es konnten klinisch nur 15,1 % (19/126) primäre Therapieversager festgestellt werden, die sich einer konsekutiven Kreuzbandrekonstruktion unterziehen mussten. Die restlichen 9,5 %, die im Verlauf per Kreuzbandrekonstruktion versorgt werden mussten, wiesen postoperativ klinisch einen positiven HR Befund auf und erlitten im Verlauf (mindestens zwei Jahre nach HR Eingriff) ein adäquates Trauma, das auch bei Patienten ohne bisherige Läsionen des vorderen Kreuzbandes zu einer Ruptur hätte führen können. Die HR Ergebnisse dieser Studie waren insgesamt sehr vielsprechend. Bei Healing Response Therapieversagen haben die Patienten immer noch die Möglichkeit, eine Kreuzbandplastik durchführen zu lassen. Die Healing Response weist eine deutlich geringere Operationsmorbidity als die autologe Kreuzbandrekonstruktion auf:

- Es werden keine Sehnen entnommen oder Knochenkanäle gebohrt.
- Es müssen nur kleine Hautschnitte gemacht werden.
- Es besteht nicht die Gefahr von patellofemorale Schmerzsyndromen wie bei Rekonstruktionen in Patella Bone-Tendon-Bone Technik.

95,3 % der Patienten dieser Arbeit gaben keine oder nur minimale intermittierende Schmerzen des operierten Knies an und nur 20,9 % klagten über persistierende Sensibilitätsdefizite. Im Gegensatz zu der Kreuzbandrekonstruktion mit einem Hamstring- oder Patellasehnentransplantat, besteht eine nur geringe Gefahr intraoperativ den Ramus Infrapatellaris des Nervus Saphenus zu affizieren (Kartus et al., 1999). Vergleichende Ergebnisse mit anderen Healing Response Kollektiven ließen sich in der Literatur dazu nicht eruieren. 93 % der Patienten zeigten keine Muskelatrophien zum Zeitpunkt der klinischen Nachuntersuchung. Das zeigt, dass keine Minderbelastung im Bereich der operierten Beinseite vorhanden ist. Bei der Follow-Up Untersuchung wiesen alle Patienten eine normwertiges, seitengleiches Bewegungsausmaß ohne Streck- oder Beugedefizite der Knie auf. Im Franziskus

Krankenhaus Linz wird die konsequente volle Extensionsstellung des Kniegelenks für 6 Wochen für unabdingbar gehalten, da die Flexion (unabhängig ob aktiv oder passiv) während der Heilungsphase ein stark erhöhtes Risiko der Luxation des vorderen Kreuzbandes aus dem Bereich des femoralen Ansatzes birgt. Dies steht im Gegensatz zu den Rehabilitationsprotokollen von Steadman et al. (2002, 2006, 2012) und Wasmaier et al. (2013), die zwar das Kniegelenk ebenfalls für 6 Wochen in einer Schiene ruhigstellen, aber aus dieser heraus in den ersten Wochen kontinuierlich gesteigerte, passive Beübung und später assistierte, aktive Beübung bis maximal 90° Flexion erlauben. Die komplette Immobilisation des Kniegelenks für diesen Zeitraum kann zu Quadrizepsmuskelverkürzungen und Verklebungen im Kniegelenk führen, die eine temporäre Einschränkung der Flexion bewirken können. Dieses Risiko wird im Rahmen des chirurgischen Nachbehandlungsprotokolls des Franziskus Krankenhaus Linz bewusst in Kauf genommen, da die Patienten zwar später in die volle Funktion kommen als Patienten, die mit einer autologen Kreuzbandplastik versorgt sind, dafür aber insgesamt eine kürzere Rehabilitationszeit benötigen, bis sie wieder an ihr ursprüngliches Leistungsniveau anzuknüpfen können (Koopmann, 2010). Klinisch zeigten die nachuntersuchten Patienten nach Abnahme der Mecron®-Schiene eine atrophiierte Muskulatur der operierten Seite und eine Einschränkung von aktivem und passivem Bewegungsausmaß der Knie. Nach 2-3 Wochen normalisierte sich das Bewegungsausmaß der Knie in der Regel (Koopmann, 2010). Der Aufbau der atrophiierten Muskulatur war stark abhängig von der Trainingsintensität in der Rehabilitationsphase. Im Rahmen von Rearthroscopien konnten bei einem Teil der Patienten Vernarbungsprozesse im Bereich der intercondylären Notch festgestellt werden. Diese hatten klinisch jedoch keinen signifikanten Einfluss auf das Bewegungsausmaß. Mit täglich durchgeführten, passiven Patellamobilisationen und isometrischen Muskelübungen der Quadrizepsmuskulatur bei ausdrücklich erwünschter Vollbelastung der Patienten wurden im Rahmen des Rehabilitationsprotokolls gute Erfahrungen gemacht. Die Indikation für die Healing Response muss sehr eng und nach ausführlicher Rücksprache mit den Patienten geschehen. Basierend auf den bisher veröffentlichten Ergebnissen und den Erfahrungswerten der chirurgischen Abteilung des Franziskus Krankenhauses Linz am Rhein, ist die Healing Response für Patienten aller Altersklassen mit mittlerem sportlichen Aktivitätsniveau geeignet und zu empfehlen. Mit

Patienten, die Sport auf hohem nationalen/internationalen Niveau durchführen und bei denen es bei der Heilung auf jeden einzelnen Tag ankommt oder Patienten, die aufgrund beruflicher Gründe einen prolongierten Krankheitsverlauf bei möglichem primären HR Therapieversagen nicht tolerieren können, müssen alle Vor- und Nachteile der HR diskutiert werden. Speziell bei Leistungssportlern ist die Erhaltung der Propriozeption und die kürzere Gesamtrehabilitationszeit im Vergleich zur autologen Kreuzbandplastik ein wesentliches Argument für die Healing Response.

4.3 Limitierungen

Das Studiendesign war retrospektiv. Nur 34,1 % (43/126) beziehungsweise unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien 48,3 % (43/89) aller HR Patienten konnten klinisch nachuntersucht werden. Nur bei 24,6 % (31/126) aller Patienten konnte arthroskopisch ein vollständig femoral eingeheltes, synoviaüberzogenes Kreuzband bewiesen werden. Weiterhin konnte nicht genau angegeben werden, wann die Patienten genau ihr ursprüngliches Bewegungsausmaß der Kniegelenke in der Rehabilitationsphase erreichten und wann sich der Oberschenkelmuskelumfang durchschnittlich normalisierte, da alle Patienten zur einer Erstkontrolle nach 6-8 Wochen einbestellt worden sind, aber anschließend keine Kontrolle der Ergebnisse nach einem einheitlichen Zeitschema durchgeführt wurde. Bei 7,9 % (10/126) des Gesamtkollektivs konnte keine postoperative Nachuntersuchung durchgeführt werden. Bei diesen Patienten konnte keine klinisch verifizierte Aussage über den Therapieerfolg gemacht werden. Die Indikation für die Healing Response ist in dieser Arbeit sehr eng gestellt worden. Nur Patienten mit femoralen Total- oder Partialrupturen wurden behandelt. Somit ergaben sich keine Erkenntnisse über den möglichen Therapieerfolg der HR bei Patienten mit Rupturen im Mittelsubstanz- oder im distalen Bereich.

4.4 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass Patienten mit gutem Outcome 6-12 Wochen nach Healing Response Operation auch nach einem Beobachtungszeitraum von durchschnittlich 6,3 Jahren gute klinische Ergebnisse, sowie eine objektiv nachweisbare hohe Kniestabilität aufweisen. Das klinisch nachuntersuchte Kollektiv zeigte subjektiv kaum Probleme in Bezug auf Schmerzen, Instabilitätsgefühl und Schwellneigung des operierten Knies. Das ursprüngliche Aktivitätsniveau wurde von über 70 % der Patienten

zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung wieder erreicht. Die Patientenzufriedenheit war sehr hoch. Bei akuten, proximalen Total- oder Partialrupturen muss nicht immer zwingend eine autologe Kreuzbandplastik durchgeführt werden. Die Healing Response ist hier bei streng gewählter Indikation eine gute Therapieoption in spezialisierten Zentren. Die primäre Insuffizienzquote von bis zu 15 % nach Healing Response Operation muss dabei im präoperativen Gespräch berücksichtigt werden.

4.5 Ausblick

Prospektive, klinische Healing Response Studien sollten angestrebt werden, in denen nach einheitlichen Zeitschemata Funktionskontrollen und Muskelumfangsmessungen durchgeführt werden. Weiterhin sind histologische Studien anzustreben, in denen das Einheilen des vorderen Kreuzbandes in die femorale Insertion nach Healing Response nachgewiesen werden sollte.

5. Zusammenfassung

Das arthroskopische Healing Response Verfahren wird bei proximalen Total- oder Partialrupturen des vorderen Kreuzbandes eingesetzt. Innerhalb von 6 Wochen nach Trauma werden mit einer Ahle Mikrofrakturierungen im Bereich des femoralen Kreuzbandursprungs und Perforationen im Bereich des vorderen Kreuzbandes gesetzt, die einen Austritt von Stammzellen und Wachstumsfaktoren bewirken. Das Kreuzband kann so an seinen nativen Ursprung einheilen. Die vorliegende Arbeit zeigt Langzeitergebnisse nach Healing Response Operation nach einem Zeitraum von mindestens 5 Jahren. Die Hypothese der Studie ist, dass bei adäquater Indikation und Patientenselektion die Healing Response eine Behandlungsoption zur autologen Kreuzbandplastik darstellt.

Zwischen 2004 und 2007 wurden 126 Patienten in unserer Klinik in Healing Response Technik operiert. Einschlusskriterium für die Nachuntersuchung war eine proximale, vordere Kreuzbandruptur, die innerhalb von 6 Wochen nach Trauma in Healing Response Technik versorgt worden ist. Ausschlusskriterien waren Kniekomplexverletzungen mit multidirektionaler Instabilität, Kreuzbandruptur, Kreuzbandplastik, Kreuzbandruptur oder Knieprothese auf der Gegenseite und Knorpelrekonstruktionsmaßnahmen (OATS, MACT, AMIC). 43 von 89 verfügbaren Patienten (23 Frauen / 20 Männer ; Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt: 36,6 Jahre \pm 11,6 Jahre; Range: 16-66 Jahre ; durchschnittliche Follow-Up Zeit: 6,3 Jahre) konnten nachuntersucht werden. Das klinisch nachuntersuchte Kollektiv wurde mit Hilfe von Lysholm-, Tegner-Aktivitäts-Score, modifiziertem IKDC 2000 Knieuntersuchungsbogen und einem subjektiven Bogen zur Beurteilung der Kniefunktion bewertet. Weiterhin wurden Bewegungsausmaße, Muskelumfangsmessungen der unteren Extremität und die vordere Translation mit einem KT-1000 Arthrometer™ bestimmt.

Die primäre Insuffizienzquote nach Healing Response Operation lag insgesamt bei 15,1 %. Bis zum Zeitpunkt der Datenerfassung im Juli 2012 wurden 24,6 % aller 126 Healing Response Patienten sekundär mit einer autologen Kreuzbandplastik versorgt. Das klinisch nachuntersuchte Kollektiv von 43 Patienten zeigte einen durchschnittlichen Lysholm-Score von $92 \pm 8,9$ Punkten. 72 % erreichten ihr ursprüngliches Aktivitätsniveau im Tegner-Aktivitäts-Score. In der IKDC 2000 Bewertung erreichten 90,7 % der

Patienten eine A Bewertung. 93 % wiesen keine Atrophien auf. Das Kollektiv zeigte keine Einschränkungen des Bewegungsausmaßes. Die durchschnittliche mit einem KT-1000™ gemessene vordere Translation im Manual-Maximum-Displacement-Test lag im seitenvergleich bei 1,3 mm ±1,6 mm. 86 % der Patienten bewerteten die Gesamtbehandlung mit gut bis sehr gut. 97,7 % des nachuntersuchten Patientenkollektivs gaben eine normale oder fast normale Kniefunktion an.

Patienten mit gutem Outcome 6-12 Wochen nach Healing Response Operation zeigen auch nach einem Beobachtungszeitraum von mindestens fünf Jahren gute klinische Ergebnisse, sowie eine objektiv nachweisbare hohe Kniestabilität.

Bei entsprechender Indikation stellt die Healing Response Methode eine Behandlungsoption bei frischen, proximalen, vorderen Kreuzbandrupturen dar. Dabei muss die primäre Insuffizienzrate von bis zu 15 % im präoperativen Gespräch berücksichtigt werden.

6. Anhang

Anschreiben: Healing Response Kollektiv



Franziskus Krankenhaus Linz
Chirurgische Abteilung
Magdalena-Daemen-Straße 20 in 53545 Linz

Frau/Herr

Chirurgische Abteilung
Chefarzt / Ärztlicher Direktor
Prof. h. c. Dr. med. D. Altmann
Chefarzt Dr. R. Auen

Magdalena-Daemen-Str. 20
53545 Linz/Rh.

Telefon: 0 26 44/55 1

E-Mail:
D.altmann@krankenhaus-linz.de
R.auen@krankenhaus-linz.de

Versorgung einer vorderen Kreuzbandruptur in Healing Response Technik - Follow-Up Untersuchung mindestens 5 Jahre nach Operation

Sehr geehrte/r Patient/in,

Sie sind mit der sogenannten „Healing Response“ Technik im Jahr **xxxx** in unserem Haus am Kreuzband operiert worden. Dieses hochmoderne Verfahren erlaubt erstmals ein natürliches Wiedereinheilen des verletzten Kreuzbands in die Abrissstelle.

Die Ergebnisse haben in der Praxis gezeigt, dass die Methode zu einem deutlich schnelleren Heilungserfolg führt als herkömmliche Operationstechniken. Wir beabsichtigen deshalb, im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit, in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn, die Ergebnisse umfangreich zu prüfen, zu dokumentieren und zu veröffentlichen. Haben Sie Interesse an der Studie teilzunehmen?

Wir würden uns sehr freuen, wenn Sie unsere Studie unterstützen und sich im Zeitraum vom **xx bis xx 2012** zur Nachuntersuchung im Franziskus Krankenhaus vorstellen, damit in Zukunft auch anderen Patienten die Methode zugute kommen kann.

Viele von Ihnen haben bereits im Jahre 2007 an einer Vorläuferstudie teilgenommen. Wir sind sehr daran interessiert, wie gut Sie seit der letzten Untersuchung mit Ihrem operiertem Knie im Alltag zurechtkommen und freuen uns Ihnen einen aktuellen Befund ihres operierten Knies geben zu können. Gesundheitliche Risiken bestehen nicht. Die Untersuchung beinhaltet verschiedene Stabilitätsprüfungen Ihres Bandapparats sowie eine detaillierte Befragung zum postoperativen Verlauf und zu Ihrer Rehabilitation und ist für Sie selbstverständlich kostenlos. Sie wird ca. 30 bis 45 Minuten in Anspruch nehmen. Die Termine lassen sich flexibel gestalten.

Eine Fahrtkostenerstattung oder Aufwandsentschädigung kann leider nicht erfolgen. Die Anreise erfolgt auf eigene Gefahr. Die erhobenen Daten werden pseudoanonymisiert (für 3. nicht zuordenbar) verwendet und weiterverarbeitet.

Zur genauen Terminabsprache werden wir Sie in der nächsten Woche anrufen. Sollten wir Sie in der nächsten Woche nicht erreichen bitten wir Sie um Rückruf unter der 02644 55 4954 (Assistenzarzt J.Jorjani).

Wir danken Ihnen bereits im Voraus für Ihre Bereitschaft!

Mit freundlichen Grüßen

Ihre Chefärzte

Assistenzarzt

Prof. h.c. Dr. med. Dieter Altmann
Dr.med. Rudolf Auen

Jafar Jorjani

Fragebogen 1: Lysholm-Score Seite 1



Fragebogen Nr. 1 - Lysholm-Score -



1. Verspüren Sie eine Instabilität in Ihrem operierten Knie ?

- Keine Instabilität
- Selten beim Sport oder schwerer Anstrengung
- Häufig beim Sport oder schwerer Anstrengung
- Gelegentlich bei alltäglicher Belastung
- Häufig bei alltäglicher Belastung
- Bei jedem Schritt

2. Verspüren Sie Schmerzen in Ihrem operierten Knie ?

- Keine
- Gelegentlich und leicht bei schwerer Anstrengung
- Stark bei unvollständiger Verrenkung (Subluxation) oder Instabilität
- Stark bei starker Anstrengung
- Stark bei oder nach 2 km Gehen
- Stark bei oder nach weniger als 2 km Gehen
- Ständig

3. Haben Sie Schwellungen an Ihrem operierten Knie ?

- Keine
- Bei unvollständiger Verrenkung (Subluxation) oder Instabilität
- Bei schwerer Anstrengung
- Bei normaler Anstrengung
- Ständig

4. Können Sie Treppen steigen ?

- Problemlos
- Mit leichter Behinderung
- Nur einzelne Stufen
- Unmöglich

5. Können Sie sich Hinsetzen ?

- Problemlos
- Mit leichter Behinderung
- Nicht über 90°
- Unmöglich

Fragebogen 1: Lysholm-Score Seite 2

6. Müssen Sie beim Gehen hinken ?

-
- Kein Hinken
-
-
- Gelegentlich oder leicht
-
-
- Schwer und ständig

7. Müssen Sie Gehhilfen benutzen ?

-
- Keine
-
-
- Stock oder Stütze
-
-
- Keine Belastung möglich

Wird gleich vom Untersucher ausgefüllt:

8. Oberschenkelatrophie operierte Beinseite ?

Messung bei	Gesunde Seite	Operierte Seite	
0 cm (Kniescheibe)			<input type="checkbox"/> Keine Atrophie <input type="checkbox"/> 1-2 cm Atrophie <input type="checkbox"/> Mehr als 2 cm Differenz
10 cm			
20 cm			

Fragebogen 2: Tegner-Aktivitäts-Score



Fragebogen Nr. 2

- Tegner-Score -



Aktivitäts-niveau	Art der Aktivität	Vor Unfall	Zur Zeit
10	Nationale und internationale Turniere: Fußball, Turnen, Hallen-Ballsport <u>mit</u> Gegnerkontakt z.B. Handball, Basketball		
9	Nationale und internationale Turniere: Abfahrtslauf, Eishockey, Hallenballsport <u>ohne</u> Gegnerkontakt z.B. Squash, Badminton Regionaler Turniersport: Fußball, Hallenballsport <u>mit</u> Gegnerkontakt z.B. Handball, Basketball		
8	Turniersport: Abfahrtslauf, Eishockey, Hallen-Ballsport <u>ohne</u> Gegnerkontakt z.B. Squash, Badminton		
7	Turniersport: Tennis, Turnen, Ringen, Leichtathletik Freizeitsport: Fußball, Hallen-Ballsport, Quersfeldeinlauf, Abfahrtslauf		
6	Freizeitsport: Tennis, Badminton, Abfahrtsski, Leichtathletik, Turnen Jogging mindestens 5 mal wöchentlich		
5	Arbeit: schwere körperliche Arbeit (z.B. Bauarbeit, Waldarbeit) Turniersport: Radfahren, Skilanglauf, Rudern Freizeitsport: Jogging auf unebenem Boden 2 mal wöchentlich		
4	Arbeit: mittelschwere körperliche Arbeit (z.B. LKW-Fahrer, Bodenreinigung) Freizeitsport: Radfahren, Langlauf, Joggen auf ebenem Boden 2 mal wöchentlich		
3	Arbeit: leichte körperliche Arbeit (z.B. Verkäufer) Turnier- und Freizeitsport: Schwimmen, Waldspaziergänge		
2	Arbeit: Überwiegend stehende, leichte Tätigkeit Gehen auf <u>unebenem</u> Boden aber <u>nicht</u> im Wald		
1	Arbeit: Sitzende Tätigkeit Gehen auf <u>ebenem</u> Boden		
0	Krank geschrieben oder Frührente aufgrund von Knieproblemen		

Fragebogen 3: Spezieller Fragebogen zur subjektiven Zustandsbeurteilung Seite 1



Fragebogen Nr. 3

1. Gibt es Schäden an Ihrem anderen Knie?

- Nein
 Ja welche:.....

2. Gibt es Sensibilitätsstörungen im Bereich Ihres operierten Knies?

- Im Bereich der Narben
 Nur oberhalb des Knies
 Nur unterhalb des Knies
 Im seitlichen Kniebereich außen innen
 Am gesamten Knie
 Sonstige
- Es gibt keine Sensibilitätsstörungen

3. Kam es nach der OP zu einer frühzeitigen od. unsachgemäßen Belastung?

- Aufs Knie gefallen
 Stark angestoßen
 Weggerutscht
 Jemand gegengetreten
 Trotz Schiene Beugung des Knies
 Sonstiges:.....
 Es kam zu keiner frühzeitigen oder unsachgemäßen Belastung

Fragebogen 4: IKDC 2000 Evaluationsbogen



Studie zur Kreuzbandchirurgie



Name:

Beinachse: eindeutig varus normal eindeutig valgus

Bewegungsausmaß (Neutralnullmethode: Streckung / 0 / Beugung)

Betroffene Seite: passiv ___ / ___ / ___ aktiv ___ / ___ / ___
Gesunde Seite: passiv ___ / ___ / ___ aktiv ___ / ___ / ___Lachmantest (25° Beugung) mit
Medmetric® - KT 1000™Betroffene Seite: ___ mm MM ___
Gesunde Seite: ___ mm MM ___

	Normal A	Fast normal B	Abnormal C	Deutlich Abnormal D	Gruppengrad A B C D	
1. Erguß	<input type="checkbox"/> Kein	<input type="checkbox"/> Leicht	<input type="checkbox"/> Mäßig	<input type="checkbox"/> Deutlich	}	
2. Passives Bewegungsdefizit Streckdefizit Beugedefizit	<input type="checkbox"/> < 3° <input type="checkbox"/> ≤ 5°	<input type="checkbox"/> 3-5° <input type="checkbox"/> 6-15°	<input type="checkbox"/> 6-10° <input type="checkbox"/> 16-25°	<input type="checkbox"/> >10° <input type="checkbox"/> >25°		
3. Ligamentuntersuchung Lachmantest manuell (25° Beugung) Vorderer Endpunkt Vordere Schublade (70°) Hintere Schublade (70°) Valgusstress Varusstress Außenrotationstest (30°) Außenrotationstest (90°) Pivot Shift Reverse Pivot Shift	<input type="checkbox"/> -1-2 mm <input type="checkbox"/> Fest <input type="checkbox"/> 0-2 mm <input type="checkbox"/> 0-2 mm <input type="checkbox"/> 0-2 mm <input type="checkbox"/> 0-2 mm <input type="checkbox"/> < 5° <input type="checkbox"/> < 5° <input type="checkbox"/> Gleich <input type="checkbox"/> Gleich	<input type="checkbox"/> 3-5 mm <input type="checkbox"/> 6-10° <input type="checkbox"/> 6-10° <input type="checkbox"/> + (Gleiten) <input type="checkbox"/> Gleiten	<input type="checkbox"/> 6-10 mm <input type="checkbox"/> Unsicher <input type="checkbox"/> 6-10 mm <input type="checkbox"/> 6-10 mm <input type="checkbox"/> 6-10 mm <input type="checkbox"/> 6-10 mm <input type="checkbox"/> 11-19° <input type="checkbox"/> 11-19° <input type="checkbox"/> ++ (Dumpf) <input type="checkbox"/> Stark	<input type="checkbox"/> >10 mm <input type="checkbox"/> >20° <input type="checkbox"/> >20° <input type="checkbox"/> +++ (Laut) <input type="checkbox"/> Ausgeprägt	}	
4. Kompartimentbefunde Krepitation anterior (PF) Krepitation mediales Komp. Krepitation laterales Komp.	<input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein	<input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig	Krepitation mit <input type="checkbox"/> leichtem Schmerz <input type="checkbox"/> leichtem Schmerz <input type="checkbox"/> leichtem Schmerz	Krepitation mit <input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz <input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz <input type="checkbox"/> > leichtem Schmerz		
5. Transplantatentnahme- morbidity	<input type="checkbox"/> Kein	<input type="checkbox"/> Gering	<input type="checkbox"/> Mäßig	<input type="checkbox"/> Deutlich		
6. Röntgenbefund Medialer Gelenkspalt Lateraler Gelenkspalt Femoropatellar-Gelenk Vorderer Gelenkspalt (sagittal) Hinterer Gelenkspalt (sagittal)	<input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein <input type="checkbox"/> Kein	<input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Gering <input type="checkbox"/> Gering	<input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig <input type="checkbox"/> Mäßig	<input type="checkbox"/> Deutlich <input type="checkbox"/> Deutlich <input type="checkbox"/> Deutlich <input type="checkbox"/> Deutlich <input type="checkbox"/> Deutlich		
7. Funktionstest Hüpfen auf einem Bein (in % der gegenüberliegenden Seite)	<input type="checkbox"/> ≥ 90%	<input type="checkbox"/> 89-76 %	<input type="checkbox"/> 75-50 %	<input type="checkbox"/> < 50 %		
Abschlußbeurteilung						

6.1 Tabellenverzeichnis	Seite
Tabelle 1: Vergleich von postoperativen Healing Response Ergebnissen mit denen der autologen Kreuzbandplastik durchschnittlich 22 Monate nach erfolgter Operation (Koopmann, 2010)	21
Tabelle 2: Einstufung der Lysholm-Score Gesamtbewertung	27
Tabelle 3: Intraoperative Befunde bei 19 Patienten mit primärer Healing Response Insuffizienz	38
Tabelle 4: Intraoperative Befunde im Rahmen von Rearthroscopien nach erfolgreicher Healing Response Operation	39
Tabelle 5: Intraoperative Befunde (Rerupturstelle + Begleitschäden) bei Patienten mit sekundärer autologer Kreuzbandplastik nach primärer Healing Response	40
Tabelle 6: Begleitverletzungen des klinisch nachuntersuchten Healing Response Kollektivs	41
Tabelle 7: Gesamtergebnis des International Knee Documentation Committee 2000 Evaluationsbogens	46
Tabelle 8: Durchschnittliche Extension/Flexion des Knies zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung	46
Tabelle 9: Ergebnisübersicht der International Knee Documentation Committee 2000 Ligamentuntersuchung	47
Tabelle 10: Ergebnisse der KT-1000™ Messung	48

Tabelle 11: Vorhandensein von kontralaterale Knieschäden	48
Tabelle 12: Lokalisierung von möglichen Sensibilitätsdefiziten	49
Tabelle 13: Mögliche Probleme bei Alltagsaktivitäten	50
Tabelle 14: Vergleich der bisher veröffentlichten Healing Response Studien	56
Tabelle 15: Vergleich der Patientenzufriedenheit aller Healing Response Studien	57
Tabelle 16: Healing Response versus autologe Kreuzbandplastik im Vergleich	58

6.2 Diagrammverzeichnis	Seite
Diagramm 1: Traumatische Rupturlokalisationen des vorderen Kreuzbandes in absteigender Reihenfolge (von oben nach unten)	8
Diagramm 2: Behandlungskonzept der vorderen Kreuzbandruptur im Krankenhaus Linz (2013)	19
Diagramm 3: Alters- und Geschlechtsverteilung zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung	23
Diagramm 4: Patientenselektion des klinisch nachuntersuchten Kollektivs (2012)	31
Diagramm 5: Healing Response Outcome 6-12 Wochen postoperativ bei einem N von 126	37
Diagramm 6: Lysholm-Gesamtscore des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten	42
Diagramm 7: Lysholm-Instabilität des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten	43
Diagramm 8: Lysholm-Schmerzen des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten	43
Diagramm 9: Lysholm-Schwellung des klinisch nachuntersuchten Kollektivs von 43 Healing Response Patienten	44
Diagramm 10: Postoperatives Tegner-Aktivitätsniveau von 43 Healing Response Patienten	45

Diagramm 11: Kniefunktion vor der Verletzung (links) und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung (rechts)	51
Diagramm 12: Differenz der subjektiven Kniefunktion prä- und postoperativ	52
Diagramm 13: Gesamtzufriedenheit der Behandlung 1= sehr gut, 10= sehr schlecht	53

6.3 Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Darstellung des anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels des vorderen Kreuzbandes http://ortho.medicine.pitt.edu/content/DoubleBundle.htm	9
Abbildung 2: Darstellung der Spannungszustände des anteromedialen (AM) und posterolateralen (PL) Bündels in Extension und Flexion (Sonnery-Cottet et al., 2007)	9
Abbildung 3: Mechanorezeptoren des Kniegelenks (Georgoulis et al., 2001)	10
Abbildung 4: Schematische Darstellung des Valgus-Außenrotationstraumas des vorderen Kreuzbandes (Koga et al., 2010)	12
Abbildung 5: MRT Sagitalschnitt: frische, proximale VKB Ruptur Radiologische Praxis Dr. Sommer (53604 Bad Honnef; Dr. med. Bernd Sommer, 2008)	16
Abbildung 6: MRT Sagitalschnitt: 2 Monate nach erfolgreicher Healing Response Radiologische Praxis Dr. Sommer (53604 Bad Honnef; Dr. med. Bernd Sommer, 2008)	16
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Healing Response (Wasmaier et al., 2013)	17
Abbildung 8: VKB Plastik in Suture Plate® Technik http://www.bbraun.de/cps/rde/xchg/bbraun-de/hs.xsl/products.html?prid=PRID00004553 (modifiziert durch Jorjani, 2013; Zugriffsdatum: 19.11.2013)	18

Abbildung 9: VKB Plastik in Bio Trans-Fix® Technik	18
http://www.arthrex.com/resources/surgical-technique-guide/sjff_vkEEeCRTQBQVoRHOW/bio-transfix-acl-reconstruction (modifiziert durch Jorjani, 2013; Zugriffsdatum: 19.11.2013)	
Abbildung 10: Schematische Darstellung der KT-1000™ Messung	25
Schauberger et al., 1996 (modifiziert durch Jorjani, 2013)	
Abbildung 11: KT-1000™ Messung in der Anwendung (134 N)	25
Jafar Jorjani, 2012	
Abbildung 12: KT-1000™ Messung in der Anwendung (Manual-Maximum-Test)	26
Jafar Jorjani, 2012	
Abbildung 13: Rupturlokalisierung des vorderen Kreuzbandes	33
Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein, 2012	
Abbildung 14: Durchführung der Healing Response Mikrofrakturierung im Bereich der femoralen Insertion (10.30h Position) mit dem Chondro-Pick	33
Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein, 2012	
Abbildung 15: Durchführung der Healing Response	34
Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein, 2012	
Abbildung 16: Reposition des vorderen Kreuzbandes	34
Franziskus Krankenhaus Linz am Rhein, 2012	

7. Literaturverzeichnis

Ahn JH, Kim JG, Wang JH, Jung CH, Lim HC. Long-term results of anterior cruciate ligament reconstruction using bone-patellar tendon-bone: an analysis of the factors affecting the development of osteoarthritis. *Arthroscopy* 2012; 28: 1114-1123

Agung M, Ochi M, Yanada S, Adachi N, Izuta Y, Yamasaki T, Toda K. Mobilization of bone marrow derived mesenchymal stem cells into the injured tissues after intraarticular injection and their contribution to tissue regeneration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthroscopy* 2006; 14: 1307-1314

Anderson AF, Snyder RB, Federspiel CF, Lipscomb AB. Instrumented evaluation of knee laxity: A comparison of five arthrometers. *Am J Sports Med* 1992; 20: 135-140

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

Bach BR Jr, Warren RF, Flynn WM, Kroll M, Wickiewicz TL. Arthrometric evaluation of knees that have a torn anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am* 1990; 72: 1299-1306

Boeth H, Duda GN, Heller MO, Ehrig RM, Doyscher R, Jung T, Moewis P, Scheffler S, Taylor WR. Anterior cruciate ligament-deficient patients with passive knee joint laxity have a decreased range of anterior-posterior motion during active movements. *Am J Sports Med* 2013; 41: 1051-1057

Bollen S. Epidemiology of knee injuries: diagnosis and triage. *Br J Sports* 2000; 34: 227-228

Bourke HE, Gordon DJ, Salmon LJ, Waller A, Linklater J, Pinczewski LA. The outcome at 15 years of endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon autograft for 'isolated' anterior cruciate ligament rupture. *J Bone Joint Surg Br* 2012; 94: 630-637

Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL. Lysholm-Score and Tegner activity level in individuals with normal knees. *Am J Sports Med* 2009; 37: 898-901

Csintalan RP, Inacio MCS, Funahashi TT. Incidence Rate of Anterior Cruciate Ligament Reconstructions. *Perm J* 2008; 12: 17-21

Crawford R, Walley G, Bridgman S, Maffulli N. Magnetic resonance imaging versus arthroscopy in the diagnosis of knee pathology, concentrating on meniscal lesions and ACL tears: a systematic review. *Br Med Bull* 2007; 84: 5-23

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

Dhillon MS, Bali K, Prabhakar S. Differences among mechanoreceptors in healthy and injured anterior cruciate ligaments and their clinical importance. *Muscles Ligaments Tendons J* 2012; 2: 38-43

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

Dowling AV, Corazza S, Chaudhari AM, Andriacchi TP. Shoe-surface friction influences movement strategies during a sidestep cutting task: implications for anterior cruciate ligament injury risk. *Am J Sports Med* 2010; 38: 478-485

Duquin TR, Wind WM, Fineberg MS, Smolinski RJ, Buyea CM. Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Knee Surg* 2009; 22: 7-12

Engebretsen L, Benum P, Sundalsvoll S. Primary suture of the anterior cruciate ligament. A 6-year follow-up of 74 cases. *Acta Orthop Scand* 1989; 60: 561-564

Eberhardt C, Jäger A, Schwetlick G, Rauschmann MA. Geschichte der Chirurgie des vorderen Kreuzbandes. *Orthopäde* 2002; 31: 702-709

Fauno P, Kaal S. Tunnel widening after hamstring anterior cruciate ligament reconstruction is influenced by the type of graft fixation used: a prospective randomized study. *Arthroscopy* 2005; 21: 1337-1341

Fridén T, Roberts D, Ageberg E, Waldén M, Zätterström R. Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture. *J Orthop Sports Phys Ther* 2001; 31: 567-576

Frosch KH, Preiss A, Heider S, Stengel D, Wohlmuth P, Hoffmann MF, Lill H. Primary ligament sutures as a treatment option of knee dislocations: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 1502-1599

Fuss FK. Anatomy of the cruciate ligaments and their function in extension and flexion of the human knee joint. *Am J Anat* 1989; 184: 162-176

Georgoulis AD, Pappa L, Moebius U, Malamou-Mitsi V, Pappa S, Papageorgiou CO, Agnantis NJ, Soucacos PN. The presence of proprioceptive mechanoreceptors in the remnants of the ruptured ACL as a possible source of re-innervation of the ACL autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2001; 9: 364-368

Granan LP, Forssblad M, Lind M, Engebretsen L. The Scandinavian ACL registries 2004–2007: baseline epidemiology *Acta Orthop* 2009; 80: 563-567

Grigg P, Greenspan BJ. Response of primate joint afferent neurons to mechanical stimulation of knee. *J Neurophysiol* 1977; 40: 1-8

Grøntvedt T, Engebretsen L, Benum P, Fasting O, Mølster A, Strand T. A prospective, randomized study of three operations for acute rupture of the anterior cruciate ligament. Five-year follow-up of one hundred and thirty-one patients. *J Bone Joint Surg Am* 1996; 78: 159-168

Hinterwimmer S, Engelschalk M, Sauerland S, Eitel F, Mutschler W. Operative or conservative treatment of anterior cruciate ligament rupture: a systematic review of the literature. *Unfallchirurg* 2003; 106: 374-379

Hefti F, Müller W, Jakob RP, Stäubli HU. Evaluation of knee ligament injuries with IKDC form. *Knee Surg Sport Traumatol Arthrosc* 1993; 1: 226-234

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: 107-114

Imhauser C, Mauro C, Choi D, Rosenberg E, Mathew S, Nguyen J, Ma Y, Wickiewicz T. Abnormal tibiofemoral contact stress and its association with altered kinematics after center-center anterior cruciate ligament reconstruction: an in vitro study. *Am J Sports Med* 2013; 41: 815-825

Janssen RP, Du Mee AW, Van Valkenburg J, Sala HA, Tseng CM. Anterior cruciate ligament reconstruction with 4-strand hamstring autograft and accelerated rehabilitation: a 10-year prospective study on clinical results, knee osteoarthritis and its predictors. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 1977-1988

Johansson H, Sjolander P, Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop* 1991 (a); 268: 161-178

Johansson H, Sjolander P, Sojka P. Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. *Crit Rev Biomed Eng* 1991 (b); 18: 341-368

Kaplan N, Wickiewicz TL, Warren RF. Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament ruptures: a long term follow-up study. *Am J Sports Med* 1990; 18: 254-358

Kapreli E, Athanasopoulos S, Gliatis J, Papathanasiou M, Peeters R, Strimpakos N, Van Hecke P, Gouliamos A, Sunaert S. Anterior cruciate ligament deficiency causes brain plasticity: a functional MRI study. *Am J Sports Med* 2009; 37: 2419-2426

Kartus J, Magnusson L, Stener S, Brandsson S, Eriksson BL, Karlsson J. Complications following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. A 2-5 year follow-up of 604 patients with special emphasis on anterior knee pain. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1999; 7: 2-8

Kartus J, Movin T, Karlsson J. Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. *Arthroscopy*. 2001; 17: 971-980

Kdolsky R, Kwasny O, Schabus R. Synthetic augmented repair of proximal ruptures of the anterior cruciate ligament. Long-term results of 66 patients. *Clin Orthop Relat Res* 1993; 295: 183-189

Laprade RF, Wijdicks CA. The management of injuries to the medial side of the knee. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012; 42: 221-233

Koga H, Nakamae A, Shima Y, Iwasa J, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R, Krosshaug T. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med* 2010; 38: 2218-2225

König DP, Rütt J, Kumm D, Breidenbach E. Diagnosis of anterior knee instability. Comparison between the Lachman test, the KT-1000 arthrometer and the ultrasound Lachman test. *Unfallchirurg* 1998; 101: 209-213

Koopmann, 2010: Versorgung einer vorderen Kreuzbandruptur: „Healing Response“ versus Kreuzbandplastik in Semitendinosus-Quadruple Technik- Vergleich der postoperativen Ergebnisse. <http://hss.ulb.uni-bonn.de/2010/2316/2316.pdf> (Zugriffsdatum: 11.09.2013)

Kwok CS, Harrison T, Servant C. The optimal timing for anterior cruciate ligament reconstruction with respect to the risk of postoperative stiffness. *Arthroscopy* 2013; 29: 556-565

Kyung BS, Kim JG, Chang M, Jang KM, Lee SS, Ahn JH, Wang JH. Anatomic double-bundle reconstruction techniques result in graft obliquities that closely mimic the native anterior cruciate ligament anatomy. *Am J Sports Med* 2013; 41: 1302-1309

Lautamies R, Harilainen A, Kettunen J, Sandelin J, Kujala UM. Isokinetic quadriceps and hamstring muscle strength and knee function 5 years after anterior cruciate ligament reconstruction: comparison between bone-patellar tendon-bone and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16: 1009-1016

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: 162-166

Leiter JR, Gourlay R, McRae S, de Korompay N, Macdonald PB. Long-term follow-up of ACL reconstruction with hamstring autograft. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013 (Epub ahead of print)

Lipps DB, Wojtys EM, Ashton-Miller JA. Anterior cruciate ligament fatigue failures in knees subjected to repeated simulated pivot landings. *Am J Sports Med* 2013; 41: 1058-1066

Lysholm J, Gillquist J. Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med* 1982; 10: 150-154

Magnussen RA, Granan LP, Dunn WR, Amendola A, Andrish JT, Brophy R, Carey JL, Flanigan D, Huston LJ, Jones M, Kaeding CC, McCarty EC, Marx RG, Matava MJ, Parker RD, Vidal A, Wolcott M, Wolf BR, Wright RW, Spindler KP, Engebretsen L. Cross-cultural comparison of patients undergoing ACL reconstruction in the United States and Norway. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 98-105

Matsumoto T, Ingham SM, Mifune Y, Osawa A, Logar A, Usas A, Kuroda R, Kurosaka M, Fu FH, Huard J. Isolation and characterization of human anterior cruciate ligament-derived vascular stem cells. *Stem Cells Dev* 2012; 21: 859-872

Mifune Y, Matsumoto T, Ota S, Nishimori M, Usas A, Kopf S, Kuroda R, Kurosala M, Fu FH, Huard J. Therapeutic potential of anterior cruciate ligament derived stem cells for anterior cruciate ligament reconstruction. *Cell Transplant* 2012; 21: 1651-1665

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: 1093-1097

Muaidi QI, Nicholson LL, Refshauge KM, Herbert RD, Maher CG. Prognosis of conservatively managed anterior cruciate ligament injury: a systematic review. *Sports Med* 2007; 37: 703-716

Muneta T, Koga H, Ju YJ, Horie M, Nakamura T, Sekiya I. Remnant volume of anterior cruciate ligament correlates preoperative patients' status and postoperative outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 906-913

Murray MM, Spindler KP, Abreu E, Muller JA, Nedder A, Kelly M, Frino J, Zurakowski D, Valenza M, Snyder BD, Connolly SA. Collagen-platelet-rich-plasma hydrogel enhances primary repair of the porcine anterior cruciate ligament. *J Orthop Res* 2007; 25: 81-91

Murray MM. Current Status and potential for primary ACL Repair. *Clin Sports Med* 2009 ; 28: 51-61

Murray MM, Spindler KP, Ballard P, Welch TP, Zurakowski D, Nanney LB. Enhanced histologic repair in a central wound in the anterior cruciate ligament with a collagen-platelet-rich plasma scaffold. *J Orthop Res* 2007; 25: 1007-1017

Murray MM, KP Spindler, C Devin, BS Snyder, J Muller, M Takahashi, P Ballard, LB Nanney and D Zurakowski. Use of a collagen-platelet rich plasma scaffold to stimulate healing of a central defect in the canine ACL. *J Orthop Res* 2006; 24: 820-830

Ng WH, Griffith JF, Hung EH, Paunipagar B, Law BK, Yung PS. Imaging of anterior cruciate ligament. *World J Orthop* 2011; 2: 75-84

Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, Holme I, Bahr R. Relationship between floor type and risk of ACL injury in team handball. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13: 299-304

Pasanen K, Parkkari J, Rossi L, Kannus P. Artificial playing surface increases the injury risk in pivoting indoor sports: a prospective one-season follow-up study in Finnish female floorball. *Br J Sports Med* 2008; 42: 194-197

Petersen W, Zantop T. Bandapparat des Kniegelenks In: Petersen W, Zantop T, Hrsg. *Das vordere Kreuzband*. Köln, Deutscher Ärzte Verlag 2009: 5-7

Poolman RW, Farrokhyar F, Bhandari M. Hamstring tendon autograft better than bone patellar-tendon bone autograft in ACL reconstruction: a cumulative meta-analysis and clinically relevant sensitivity analysis applied to a previously published analysis. *Acta Orthop* 2007; 78: 350-354

Pugh L, Mascarenhas R, Arneja S, Chin PY, Leith JM. Current concepts in instrumented knee-laxity testing. *Am J Sports Med* 2009; 37: 199-210

Reinhardt KR, Hetsroni I, Marx RG. Graft Selection for anterior cruciate ligament reconstruction: a Level I systematic review comparing failure rates and functional outcomes. *Orthop Clin North Am* 2010; 41: 249-262

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: 14-18

Rosc D, Powierza W, Zastawna E, Drewniak W, Michalski A, Kotschy M. Post-traumatic plasminogenesis in intraarticular exudate in the knee joint. *Medical Science Monitor* 2002; 8: 371-378

Rupp S, Kohn D. Vorderes Kreuzband im Mittelpunkt des Interesses. *Orthopäde* 2002; 31: 701

Scheffler SU, Unterhauser FN, Weiler A. Graft remodeling and ligamentization after cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2008; 16: 834-842

Senter C, Hame SL. Biomechanical analysis of tibial torque and knee flexion angle: implications for understanding knee injury. *Sports Med* 2006; 36: 635-641

Schultz RA, Miller DC, Kerr CS, Micheli L. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg* 1984; 66: 1072-1076

Schutte MJ, Dabezies EJ, Zimny ML, Happel LT. Neural anatomy of the human anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*. 1987; 69: 243-247

Seiler H, Frank HR. Suture of the anterior cruciate ligament-what is the real value of this method? *Unfallchirurg* 1993; 96: 443-450

Sherman MF, Bonamo JR. Primary repair of the anterior cruciate ligament. *Clin Sports Med* 1988; 7: 739-750

Siegel L, Vandenakker-Albanese C, Siegel D. Anterior cruciate ligament injuries: anatomy, physiology, biomechanics, and management. *Clin J sports Med* 2012; 22: 349-355

Starr HM, Sanders B. Anterior cruciate ligament injuries in wakeboarding: prevalence and observations on injury mechanism. *Sports Health* 2012; 4: 328-332

Steadmann 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, Cameron-Donaldson ML, Briggs KK, Rodkey WG. Healing-Response Treatment for ACL Injuries. *Orthop Technol Rev* 2002; 3: 3

Steadman JR, Rodkey WG, Rodrigo JJ. Microfracture: surgical technique and rehabilitation to treat chondral defects. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 391: 362-369

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: 255-260

Steadman JR, Briggs KK, Rodrigo JJ, Kocher MS, Gill TJ, Rodkey WG. Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11- year follow-up. *Arthroscopy* 2003; 19: 477-484

Steinert AF, Kunz M, Prager P, Barthel T, Jakob F, Nöth U, Murray MM, Evans CH, Porter RM. Mesenchymal stem cell characteristics of human anterior cruciate ligament outgrowth cells. *Tissue Eng Part A* 2011; 17: 1375-1388

Strehl A, Egli S. The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). *J Trauma* 2007; 62: 1159-1162

Streich NA, Zimmermann D, Bode G, Schmitt H. Reconstructive versus non-reconstructive treatment of anterior cruciate ligament insufficiency. A retrospective matched-pair long-term follow-up. *Int Orthop* 2011; 35: 607-613

Sonnery-Cottet B, Chambat P. Arthroscopic identification of the anterior cruciate ligament posterolateral bundle: the figure-of-four position. *Arthroscopy* 2007; 23: 1128

Südkamp NP, Weiler A. Ligamentäre Kniegelenksverletzungen und Meniskusverletzungen. In: Mutschler W, Haas NP, Hrsg. *Praxis der Unfallchirurgie*. Stuttgart: Thieme, 2004: 466-467

Swärd P, Kostogiannis I, Roos H. Risk factors for a contralateral anterior cruciate ligament injury. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2010; 18: 277-291

Tanaka MJ, Jones KJ, Gargiulo AM, Delos D, Wickiewicz TL, Potter HG, Pearle AD. Passive Anterior Tibial Subluxation in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knees. *Am J Sports Med* 2013 (Epub ahead of print)

Taylor DC, DeBerardino TM, Nelson BJ, Duffey M, Tenuta J, Stoneman PD, Sturdivant RX, Mountcastle S. Patellar tendon versus hamstring tendon autografts for anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled trial using similar femoral and tibial fixation methods. *Am J Sports Med* 2009; 37: 1946-1957

Tegner Y, Lysholm J. Rating systems in the evaluation on knee ligament injuries. *Clin Orthop* 1985; 198: 43-49

Tillmann B: Anatomie der unteren Extremität. In: Zilles K, Tillmann B, Hrsg. Anatomie. Heidelberg: Springer, 2010 (a): 259; 2010 (b): 257

Tjoumakaris FP, Donegan DJ, Sekiya JK. Partial tears of the anterior cruciate ligament: diagnosis and treatment. *Am J Orthop* 2011; 40: 92-97

Toth AP, Cordasco Fa. Anterior cruciate ligament injuries in the female athlete. *J Gend Specif Med* 2001; 4: 25-34

Vidal C, Guingand O, de Thomasson E, Conso C, Terracher R, Balabaud L, Mazel C. Painful patellofemoral instability secondary to peroperative patellar fracture during bone-patellar tendon-bone autograft harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res* 2012; 98: 733-735

Waite JC, Beard DJ, Dodd CA, Murray DW, Gill HS. In vivo kinematics of the ACL-deficient limb during running and cutting *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005; 13: 377-384

Waldén M, Häggglund M, Ekstrand J. High risk of new knee injury in elite footballers with previous anterior cruciate ligament injury. *Br J Sports Med* 2006; 40: 158-162

Wasmaier J, Kubik-Huch R, Pfirmann, Grehn H, Bieg C, Eid K. Proximal Anterior Cruciate Ligament Tears: The Healing Response Technique versus Conservative Treatment. *J Knee Surg* 2013; 26: 263-271

West RV, Harner CD. Graft selection in anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Acad Orthop Surg* 2005; 13: 197-207

Wild CY, Steele JR, Munro BJ. Why do girls sustain more anterior cruciate ligament injuries than boys?: a review of the changes in estrogen and musculoskeletal structure and function during puberty. *Sports Med* 2012; 42: 733-749

Wipfler B, Donner S, Zechmann CM, Springer J, Siebold R, Paessler HH. Anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon versus hamstring tendon: a prospective comparative study with 9-year follow-up. *Arthroscopy* 2011; 27: 653-665

Woo SL, Hollis JM; Adams DJ, Lyon RM, Takai S. Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. *Am J Sports Med*; 19: 217-225

Woo SL, Vogron TM, Abramowitch SD. Healing and repair of ligament injuries in the knee. *J Am Acad Orthop Surg* 2000; 8: 364-372

Woo SL, Wu C, Dede O, Vercillo F, Noorani S. Biomechanics and anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Surg Res* 2006; 1: 2

Xie GM, Huang Fu XQ, Zhao JZ. The effect of remnant preservation on patterns of gene expression in a rabbit model of anterior cruciate ligament reconstruction. *J Surg Res* 2012; 176: 510-516

Zimny ML, Schutte M, Dabezies E. Mechanoreceptors in the human anterior cruciate ligament. *Anat Rec* 1986; 214: 204-209

8. Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dieter Christian Wirtz, Herrn Dr. med. Dieter Altmann und Herrn Dr. med. Rudolf Auen für das Überlassen der Thematik, die Unterstützung dieser Dissertation und die intensive und geduldige fachliche Betreuung.

Herrn Dr. med. Dieter Altmann möchte ich gesondert dafür danken, dass er sowohl fachlich als auch insbesondere menschlich immer ein absolutes Vorbild war und mich bei persönlichen und fachlichen Fragestellungen stets mit allen Mitteln unterstützt hat. Dies war prägend.

Einen besonderen Dank an Herrn Dr. med. Christoph Koopmann für die tatkräftige Unterstützung bei der Konzeptplanung dieser Arbeit, Herrn Dipl.-Psych. Alfred Breull für die Unterstützung in statistischen Fragen und Herrn MPH Dr. med. Matthias Altmayer für die kritische Lektüre der Arbeit. Vielen Dank auch an das Chefarztsekretariatsteam und an die Ambulanz des Franziskus Krankenhauses Linz am Rhein für die logistische Unterstützung.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn Dr. med. Peter Schäferhoff und Herrn Dr. rer. medic. Hauke Dewitz für die Bereitstellung des KT-1000 Arthrometers™ bedanken.

Vielen Dank auch an meinen besten Freund Marcel Formuli für das Gegenlesen und die Korrekturen.

Besonders herzlich danken möchte ich meinen Eltern und meiner Schwester, die stets an meine Ziele geglaubt haben und mich mit allen Mitteln unterstützt haben. Ohne sie wäre meine akademische Laufbahn nicht möglich gewesen.