

Diplomarbeit

**Evaluierung des diagnostischen Potentials der MRT in
der Abklärung von Rampenläsionen und von Läsionen
des anterolateralen Bandes als Begleitverletzung bei
Rupturen des vorderen Kreuzbandes - eine retrospektive
Datenanalyse**

eingereicht von

Nikolaus Stranger

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Radiologie

Klinische Abteilung für allgemeine radiologische Diagnostik

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Helmut Schöllnast, MBA

Graz, am 05.11.2021

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 05.11.2021

Nikolaus Stranger e.h.

Danksagungen

Meinem Betreuer ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Helmut Schöllnast MBA möchte ich herzlich dafür danken, dass ich diese Arbeit an der der Universitätsklinik für Radiologie am LKH Graz verfassen konnte. Zusätzlich möchte ich mich bei ihm für die Hilfestellung in statistischen- und organisatorischen Belangen bedanken.

Ich danke Dr. Christian Kaulfersch und Priv. Doz. Dr. med. univ. Georg Mattiassich ausdrücklich, dass ich diese Arbeit in Kooperation mit der Klinik Diakonissen Schladming verfassen durfte, sowie für die Beantwortung meiner Fragen zu unfallchirurgischen Themen.

Beim Team des Diagnostikum Schladming möchte ich mich für die gute Unterstützung bedanken und das ich ausgezeichnete Bedingungen zum Auswerten und Verfassen dieser Arbeit vorgefunden habe.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, dass sie mir mein Studium und damit auch das Verfassen dieser Arbeit ermöglicht haben. Sie standen stets an meiner Seite.

Inhaltsverzeichnis

Danksagungen	ii
Inhaltsverzeichnis	iii
Glossar und Abkürzungen	vi
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
Zusammenfassung	x
Abstract.....	xii
1 Einleitung	1
1.1 Das Knie	1
1.1.1 Anatomie und Biomechanik	1
1.2 Vordere Kreuzbandruptur	7
1.2.1 Epidemiologie.....	7
1.2.2 Verletzungsmechanismus und Klinik.....	7
1.3 Segondfraktur.....	8
1.4 Biomechanische Veränderungen bei ALL-Läsionen.....	8
1.5 Meniskusverletzungen	9
1.5.1 Rampen Läsionen	11
1.6 Orthopädische Tests.....	16
1.6.1 Kreuzbandverletzungen	16
1.6.2 Meniskusverletzungen	18
1.7 Multiparametrische Magnetresonanz- Tomographie (MRT) des Knies.....	19
1.7.1 Physikalische Grundlagen der MRT.....	19
1.7.2 Meniskusklassifikationen in der MRT	21
1.7.3 VKBR in der MRT	22

1.7.4	ALL Ruptur in der MRT	22
1.7.5	Rampenläsionen in der MRT.....	24
1.8	Operative Therapie	26
1.8.1	Arthroskopie	27
2	Material und Methoden	35
2.1	Studienkollektiv	35
2.1.1	Grundkollektiv.....	35
2.2	Parameter	36
2.2.1	Erhobene Parameter in der MRT.....	36
2.2.2	Erhobene Parameter in der Arthroskopie	37
2.3	Technische Parameter der MRT und Befundung.....	38
2.4	Methoden der operativen Versorgung	40
2.5	Statistische Datenanalyse.....	40
3	Ergebnisse- Resultate	40
3.1	Alter und Geschlechterverteilung	40
3.2	Zeitintervall MRT/ Arthroskopie.....	41
3.3	Ergebnisse der MRT	41
3.3.1	Lage der Rampenläsionen in der MRT (Klassifiziert nach Greif et al.) (58)	44
3.4	Ergebnisse der Arthroskopie.....	50
4	Diskussion	52
4.1	Diagnostische Wertigkeit der MRT in der Erkennung von Rampenläsionen	52
4.1.1	Klassifikation der Rampenläsionen nach Greif et al. (58).....	54
4.2	diagnostische Wertigkeit der MRT in der Erkennung von Läsionen im ALL	55
4.3	Alter	57
4.4	Zeitintervall zwischen MRT und Arthroskopie	57
4.5	Mögliche Schwächen der Studie.....	58
4.6	Abschließende Bewertung und Ausblick.....	58

5	Literaturverzeichnis.....	59
---	---------------------------	----

Glossar und Abkürzungen

PHMM	Cornu posterius Meniskus medialis
MM	Medialer Meniskus
LM	Lateraler Meniskus
ALL	Anterolaterales Ligament, anterolateral ligament
VKB	Vorderes Kreuzband
PST	Pivot-Shift Test
TI	Tractus Iliotibialis
VKBR	Vordere Kreuzband Ruptur, vordere Kreuzband Rupturen
MRT, MRI	Magnetresonanztomografie, Magnetic Resonance Imaging
POL	Posterior oblique ligament
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
BTB	Bone-tendon-bone
STS	Semitendinosussehne
MS	Musculus semimembranosus
cm	Zentimeter
Et al.	Et alii
IKDC-Score	International Knee Documentation Committee Score
%	Prozent
T	Tesla
RL	Ramp lesion, ramp lesions
ACL	Anterior cruciate ligament
SF	Second fracture
FOV	Field of view
°	Grad
mm	Millimeter

HF	Hochfrequenzimpuls
----	--------------------

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Beispielbefund einer ALL-Läsion:</i>	42
<i>Abbildung 2: Beispielbefund einer Segondfraktur:</i>	43
<i>Abbildung 3: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 1 nach Greif et al.:</i>	46
<i>Abbildung 4: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 2 nach Greif et al.:</i>	46
<i>Abbildung 5: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 3A nach Greif et al.:</i>	47
<i>Abbildung 6: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 3B nach Greif et al.:</i>	47
<i>Abbildung 7: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 4A nach Greif et al.:</i>	48
<i>Abbildung 8: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 4B nach Greif et al.:</i>	48
<i>Abbildung 9: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 5 nach Greif et al.:</i>	49
<i>Abbildung 10: Beispielbefund eines Knochenmarksödems im postero-medialen Tibiakondyl:</i>	50

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1- Prävalenz von Rampenläsionen in der Literatur</i>	14
<i>Tabelle 2- Ergebnisse der Gesamtpopulation in der MRT.....</i>	41
<i>Tabelle 3- Meniskusrisse in der Gesamtpopulation in der MRT.....</i>	42
<i>Tabelle 4- Ergebnisse der Studienpopulation mit VKBR in der MRT.....</i>	43
<i>Tabelle 5- Ergebnisse der Studienpopulation mit ALL-Läsion in der MRT.....</i>	44
<i>Tabelle 6- Ergebnisse der Studienpopulation mit Rampenläsion in der MRT</i>	44
<i>Tabelle 7- Ergebnisse der Rampenläsion- Typen nach Greif et al.....</i>	49
<i>Tabelle 8- Ergebnisse der Gesamtpopulation in der Arthroskopie.....</i>	50
<i>Tabelle 9- Meniskusrisse in der Gesamtpopulation in der Arthroskopie.....</i>	51
<i>Tabelle 10- Ergebnisse der Studienpopulation mit VKBR in der Arthroskopie.....</i>	51
<i>Tabelle 11- Ergebnisse der Studienpopulation mit ALL-Läsion in der Arthroskopie.....</i>	52

Zusammenfassung

Fragestellung: Ziel dieser Studie war es, das Potential der MRT in der Evaluation von Rampenläsionen und Läsionen des ALL bei Patienten/innen mit VKBR zu zeigen. Aufgrund ihrer Lokalisation und fehlendem Wissen über die Morphologie der Läsionen werden diese in der MRT oft übersehen. Nicht versorgte Läsionen können zur chronischen Instabilität nach VKB-Rekonstruktionen führen, weshalb eine zeitgerechte Diagnostik essentiell ist.

Methoden: In dieser retrospektiven, monozentrischen Studie wurden 163 Patienten/innen untersucht. Das Durchschnittsalter betrug 36,9 Jahre, das Durchschnittszeitintervall zwischen Verletzung und arthroskopischer VKB-Rekonstruktion betrug 49,6 Tage. Alle MRT-Untersuchungen wurden von einem muskuloskelettalen Radiologen, welcher keine Informationen über die Ergebnisse der Arthroskopie hatte, begutachtet. Die Ergebnisse der MRT-Untersuchungen wurden mit denen der Arthroskopie korreliert. Die Rampenläsionen wurden nach Greif et al definiert und klassifiziert. ALL Läsionen wurden als Diskontinuität einer Bandstruktur an der anterolateralen Seite des Kniegelenks definiert. Eine Segondfraktur wurde als distaler, knöcherner Ausriss des ALL definiert. Eine anterolaterale Stabilisierung wurde bei intraoperativ positivem PST durchgeführt.

Ergebnisse: In der MRT wurden bei 52 Patienten/innen (31,9%) Rampenläsionen gefunden. Die Klassifikation der Rampenläsionen ergab 9,6% Typ 1 Läsionen, 1,9% Typ 2 Läsionen, 11,5% Typ 3a Läsionen, 21,2% Typ 3b Läsionen, 26,9% Typ 4a Läsionen, 23,1% Typ 4b Läsionen und 5,8% Typ 5 Läsionen. Rampenläsionen waren bei 65,4% der Patienten/innen mit einem subchondralen Knochenmarksödem im posteromedialen Tibiaplateau assoziiert, dieses zeigte sich bei 50% der Typ 3a Läsionen, 72,7% der Typ 3b Läsionen, 50% der Typ 4a Läsionen, 91,7% der Typ 4b Läsionen und in 100% der Typ 5 Läsionen. Diese Korrelation könnte durch die Stabilität der Läsionen beeinflusst werden, da Rampenläsionen vom Typ 3-5 als instabil gelten. ALL-Läsionen wurden in der MRT bei 48 Patienten/innen (29,5%) und Segondfrakturen bei vier Patienten/innen (2,5%) diagnostiziert. Der intraoperative PST zeigte sich jedoch nur bei 18 Patienten/innen (11%) positiv. Bei vier Patienten/innen (2,5%) mit positivem PST konnten keine ALL-Läsionen in der MRT gefunden werden.

Schlussfolgerung: In der Studie zeigten sich in der MRT bei 31,9% Rampenläsionen und in 29,5% ALL-Läsionen. Ein subchondrales Knochenmarksödem im posteromedialen

Tibiaplateau war assoziiert mit Rampenläsionen vom Typ 3-5, welche als instabil klassifiziert werden und als zusätzliches diagnostisches Zeichen in der MRT angesehen werden könnten.

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to evaluate the potential of MRI to detect meniscal ramp lesions and ALL injuries in patients with ACL tears. Due to their location and lack of general knowledge regarding morphologic appearances, these lesions are commonly underdiagnosed with MRI.

Methods: In this retrospective, single centre study, we evaluated the potential of MRI in detecting RL and ALL injuries in 163 patients with a mean age of 36,9 years. The mean interval between injury and arthroscopic ACL reconstruction was 49, 6 days. All MRI scans were reviewed by an experienced musculoskeletal radiologist who was blinded to the arthroscopic results. The findings were correlated with arthroscopy. RL were defined and categorized according to Greif et al.'s classification system. The ALL injuries were described as discontinuities of a ligamentous structure on the anterolateral side of the knee or SF. If the PST was positive an anterolateral stabilization procedure was performed intraoperatively.

Results: RL were depicted with MRI in 52 patients (31,9%). The classification of the RL revealed 9,6% type 1 RL, 1,9% type 2 RL, 11,5% type 3a RL, 21,2% type 3b RL, 26,9% type 4a RL, 23,1% type 4b RL and 5,8% type 5 RL. RL were associated with subchondral bone marrow edema in the postero-medial tibia plateau in 65,4% with RL. Subchondral bone marrow edema was depicted in 50% of type 3a RL, 72,7% of type 3b lesions, 50% of type 4a lesions, 91,7% of type 4b lesions and in 100% of type 5 lesions.

ALL injuries were depicted in 48 patients (29,5%) and SF in four patients (2,5%), however the intraoperative PST was positive in only 18 patients (11%). No ALL lesion was diagnosed with MRI in four patients (2,5%) with positive PST.

Conclusion: The findings of our study demonstrate that in patients with ACL-tears MRI depicted RL in 31,9% and ALL injuries in 29,5% of the patients. Bone marrow edema in the posteromedial tibia plateau adjacent to the RL was associated with RL types 3-5, which were classified as unstable lesions and thus, it might be considered as an ancillary diagnostic MR feature.

1 Einleitung

1.1 Das Knie

Das Kniegelenk verbindet die längsten Hebelarme des Skeletts, die Weichteilbedeckung ist gering und die miteinander artikulierenden Gelenkkörper sind wenig kongruent, diese besondere Anatomie ist die Erklärung für die Häufigkeit von traumatischen Knieverletzungen und chronisch degenerativen Veränderungen (1).

1.1.1 Anatomie und Biomechanik

Gelenkkörper

Das Kniegelenk besteht aus mehreren Teilgelenken, an denen der distale Femur, die proximale Tibia und die Patella beteiligt sind, es wird unterteilt in Femoropatellargelenk und Femorotibialgelenk, klinisch kann man das Femorotibialgelenk in ein mediales und laterales Kompartiment unterteilen (1). Funktionell gesehen ist das Kniegelenk ein Drehscharniergelenk, die Achse der Flexion und Extension verläuft beinahe frontal durch die Femurkondylen hindurch (1). Durch die Walzenform der Femurkondylen kommt es bei Beugung im Kniegelenk zum Drehen auf dem Tibiaplateau und parallel dazu zu ihrem Abrollen nach dorsal, dies führt dazu, dass die Femurkondylen bei maximaler Beugung an den dorsalen Rand des Tibiaplateaus geraten, dadurch ist die Kontaktfläche zwischen Femur- und Tibiakondylen bei gebeugtem Kniegelenk geringer als bei gestrecktem Knie (1). Hinzu kommt, dass der Unterschenkel bei gebeugtem Knie um seine Längsachse rotieren kann (1). Das Femorotibialgelenk hat keine knöchernen Führung und wird durch Muskeln und Bänder stabilisiert, das Femoropatellargelenk zeigt eine sichere Knochenführung (2). Die Patella bewegt sich entlang der Facies patellaris des Femurs, die wie eine Gleitrinne konfiguriert ist (2). Das Knie hat großen Bewegungsumfang in Flexion und Extension, in Streckstellung ist das Kniegelenk stabil, da die Seitenbänder gespannt sind und dadurch keine Rotation möglich ist, in der Beugung vermindert sich die Spannung und das Knie wird instabil, dadurch sind eine Außenrotation und zu geringerem Grad eine Innenrotation möglich (2).

Menisci

Die C-förmigen Menisci bestehen aus Faserknorpel und zeigen einen keilförmigen Querschnitt mit der größten Dicke an der Meniskusbasis, sie werden in Vorderhorn, Pars intermedia und Hinterhorn unterteilt und schieben sich zwischen die Gelenkkörper des medialen und lateralen Femorotibialgelenks ein, somit vergrößern sie die Auflagefläche der Femurkondylen auf den Tibiakondylen, dies führt zu einer gleichmäßigen Druckverteilung (1). Femur und Tibia üben eine Kompressionskraft auf die Menisci aus, welche radial nach außen gedrückt werden (3). Bei der Kniebeugung kommt es zu einer Abrollbewegung der Femurkondylen auf den tibialen Gelenkflächen, die Menisci werden von den Femurkondylen nach dorsal verdrängt, bei der Streckung gleiten sie wieder nach vorne (1). Vedi Et alii. (et al.) konnten zeigen, dass das Hinterhorn des medialen Meniskus (PHMM) wenig mobil ist, wodurch es Stabilität gibt und die anteriore tibiale Translation verhindert, diese relative Immobilität ist aber mit einem höheren Verletzungsrisiko verbunden (3).

Wenn die Tibia im gebeugten Knie nach außen rotiert, gleitet der mediale Femurkondyl auf dem medialen Tibiakondyl noch weiter nach dorsal, dadurch wird ein großer Druck auf den medialen Meniskus (MM) ausgeübt und dieser muss weiter nach dorsal ausweichen, umgekehrt ist es bei der Innenrotation, welche aber nur zu geringem Grade möglich ist (1). Die Druckverteilung bei der femorotibialen Lastübertragung erfolgt medial, bis zu 90 Prozent (%) in Beugung und bis zu 50% in Streckung, über den MM und lateral, bis zu 90% in Beugung und 70% in Streckung, über den lateralen Meniskus (LM) (4).

Die Menisci sind am Vorderhorn und Hinterhorn mit dem Knochen verwachsen, das Ligamentum transversum genus verbindet die beiden Vorderhörner, die beiden breiteren Außenkanten der Menisci sind mit der Gelenkkapsel verwachsen (1). Der MM ist weniger gekrümmt und mit dem medialen Kollateralband verwachsen, durch seine Befestigungen an der Tibia ist die Beweglichkeit eingeschränkt, was bei Beugung und Außenrotation im Kniegelenk zu einer Erhöhung der Spannung führt (1). Der LM ist stärker gekrümmt und geringer fixiert als der MM. Dadurch ist er beweglicher und weniger verletzungsgefährdet (1).

Die Menisci werden über die Arteria media genus, welche sich in ein perimeniskales Randnetz verzweigt, versorgt, die zentrale Zone wird mittels Diffusion von der Synovia ernährt und ist nicht vaskularisiert (2). Die Menisci werden in Bezug auf die Gefäßverteilung in Zonen eingeteilt, die Zone 1, auch rot-rot Zone genannt, liegt der

Kapsel an, bei Meniskusrissen sind beide Rissränder gut durchblutet und haben ein gutes Heilungspotential (4). Zone 2, oder rot-weiß Zone genannt, befindet sich im Übergangsbereich, das heißt ein Rissrand ist durchblutet und der andere nicht (4). Die Zone 3, auch weiß-weiß Zone genannt, liegt im Gelenkzentrum, beide Rissränder sind schlecht bis nicht durchblutet, diese Zone zeigt ein schlechtes Heilungspotential (4).

Ventrale Bänder

Das Ligamentum patellae ist die Bündelung der Ansatzsehnen des Musculus quadriceps femoris und verläuft zwischen Patella und Tuberositas tibiae, medial und lateral der Patella ziehen Sehnenfasern des M. quadriceps femoris vorbei, sie werden als Retinaculum patellae mediale und laterale, oder auch Reservestreckapparat, bezeichnet (1). Ventral ist noch das mediale patello-femorale Ligament hervorzuheben, es entspringt am vorderen Anteil des medialen Femurkondyl und inseriert medial am proximalen Drittel der Patella (5). Das mediale patello-femorale Ligament ist der kräftigste Weichteilstabilisator gegen die laterale Patellaluxation (6,7).

Kollateral Bänder

Die Kollateralbänder, auch Seitenbänder genannt, sichern und stabilisieren das Kniegelenk seitlich (1). Das mediale Kollateralband hat in der Seitenansicht eine dreieckige Form, da es aus zwei Faserbündeln besteht, sie entspringen gemeinsam am Epicondylus medialis femoris, das vordere Bündel zieht schräg nach antero-distal und inseriert an der Facies medialis tibiae, das hintere Bündel zieht schräg nach posterior an den Condylus medialis tibiae (1). Das anteriore Faserbündel ist nicht mit dem MM verwachsen, das posteriore Faserbündel hingegen ist mit dem MM fest verwachsen (2). Das mediale Kollateralband verhindert ein aufklappen des Kniegelenks nach medial, das Einknicken des Kniegelenks nach medial wird auch Valgisierung genannt, da das mediale Kollateralband am proximalen Ursprung hinter und über der Flexions-/Extensionsachse liegt, entspannt es sich in der Beugung des Kniegelenks und eine geringe Rotation und Valgisierung sind möglich (1).

Das laterale Kollateralband hat einen ovalen Querschnitt und liegt extrakapsulär, es entspringt am lateralen Femurepikondyl und zieht schräg nach dorso-kaudal um am Caput fibulae zu inserieren (1). Das laterale Kollateralband verhindert das Aufklappen nach lateral und limitiert die Außenrotation (1).

Postero- mediales Gelenkseck (Semimembranosuseck)

Die wichtigsten Strukturen hierbei sind der Musculus semimembranosus (MS) und das Ligamentum collaterale mediale posterius (8). Das Ligamentum collaterale mediale posterius, auch „posterior oblique ligament“ (POL) genannt, entspringt posterior des medialen Kollateralbandes und verläuft schräg nach posterior und inseriert an der proximalen Tibia direkt anterior der tibialen Insertion des Pes anserinus profundus, tiefe Fasern des POL strahlen in das PHMM ein (8). Die postero- mediale Gelenkkapsel wird durch die Ansatzsehne des MS verstärkt, da ein Teil der Fasern in die Kapsel einstrahlen (8). Die ligamentöse Struktur die vom MM zur Tibia zieht wird als Ligamentum coronarium bezeichnet (9). Das Ligamentum coronarium sichert die postero-medialen Strukturen gegen die anteriore tibiale Translation, indem es den MM befestigt, welcher als Bremskeil dient (8). Das Semimembranosuseck ist ein Synergist des vorderen Kreuzbandes (VKB) und dadurch bei VKB-Rissen (VKBR) oft mitbetroffen (8).

De Phillipio et al untersuchten die Verbindung zwischen posteriorer Gelenkkapsel und dem MM und zeigte, dass das hintere meniskotibiale Ligament in einem schrägen Winkel von der hinteren Tibia nach proximal und inserierte am inferioren Rand des hinteren MM verlief, das meniskotibiale Ligament verband sich mit dem meniskokapsulären Ligament und sie gemeinsam ergaben die Verbindung des PHMM mit der Gelenkkapsel (10). Das mediale Kollateralband hatte eine breite Verbindung mit dem mittleren Teil des MM, die meniskofemorale Befestigung des medialen Kollateralbands vermischte sich mit dem POL posterior und mit der antero-medialen Kapsel anterior (10). Laut Peltier et al. war hingegen das meniskotibiale Ligament die einzige Verankerung des PHMM, die Gelenkkapsel des Knies inserierte erst an der posterioren Tibia und hat keinen Kontakt zum Meniskus (11).

Die posteriore Gelenkkapsel verbindet sich mit dem PHMM nicht direkt am superioren Rand des Meniskus, sondern leicht inferior, dies erzeugt einen „hidden space“ für Rampenläsionen, wenn sich das Knie in nahezu vollständiger Streckung befindet (10).

Dorsale Bänder

Als dorsale Bänder werden das Ligamentum popliteum obliquum und das Ligamentum popliteum arcuatum bezeichnet, das Ligamentum popliteum obliquum verstärkt die Gelenkkapsel hinten und zieht von der Hinterseite des medialen Tibiakondyls schräg nach proximal zum lateralen Femurepikondylus, es verhindert eine Überstreckung des Knies und begrenzt die Außenrotation des Unterschenkels (1). Das Ligamentum popliteum arcuatum entspringt am Fibulaköpfchen, verläuft bogenförmig nach proximo- medial und

strahlt in die Kapsel ein, bei Streckung im Kniegelenk spannt es sich an und mit dem Außenband gemeinsam verhindert es eine Varisierung des Unterschenkels (1).

Anterolaterales Ligament

Das anterolaterale Ligament (ALL) ist eine Bandstruktur auf der lateralen Seite des Knies welches sich zwischen Femur und Tibia erstreckt (12). In einer der ersten Publikationen über das ALL befassten sich Steven Claes et al. mit dessen anatomischem Verlauf, zu diesem Zeitpunkt wurde diese anatomische Struktur auch als kapsulo-knöchernen Schicht des Tractus Iliotibialis (TI), als mittleres Drittel des lateralen Kapselbandes oder als Verstärkung im mittleren Drittel der lateralen Gelenkkapsel bezeichnet (12). Die erste Beschreibung erfolgte durch den französischen Chirurgen Paul Segond, der es als perlmutartige, fibröse Bandstruktur im anterolateralen Aspekt des Knies beschrieb (12).

Der Ursprung des ALL variiert stark in den Studien. Laut Steven Cleas et al. war das ALL leicht zu unterscheiden von der dünnen Gelenkkapsel, die anterior liegt, der Hauptursprung des ALL lag am Epikondylus lateralis femoris, anterior des Ursprungs des lateralen Kollateralbands und proximo-posterior zum Ansatz der Popliteussehne (12). Dodds et al. beschrieben den Ursprung des ALL proximal und leicht posterior zum femoralen Epikondylus und dem lateralen Kollateralband, laut dieser Studie überkreuzten sich ALL und laterales Kollateralband bei einer Beugung des Knies (13). Kennedy et al. gaben den Ursprung des ALL postero-proximal zum lateralen Kollateralband und dem lateralen Femurepikondylus an (14). Vincent et al. hingegen behaupteten, dass das ALL gemeinsam mit der Popliteussehne anterior dem lateralen Kollateralband entspringt (15). Helito et al. beschrieben den Ursprung des ALL antero-distal des Ursprungs des lateralen Kollateralbandes (16). Caterine et al. beschrieben im Gegensatz zu den vorherigen Studien zwei Ursprungsstellen des ALL, die Erste antero-distal und die Zweite postero-proximal des lateralen Kollateralbandes, weiters gaben sie einen aufgefächerten Ursprung an, der mit dem lateralen Kollateralband vergesellschaftet war (17). Beim Ansatz an der Tibia kamen diese Studien zum gleichen Ergebnis. Das ALL zieht schräg nach antero-distal und inseriert an der anterolateralen Seite der proximalen Tibia, posterior zum Tuberculum Gerdy und anterior des Fibulaköpfchens (12–17). Bei der histologischen Analyse des ALL konnte eine ligamentöse Struktur, die von der lateralen Kapsel und dem TI getrennt ist und aus parallelen, kollagenen Fasern besteht, gezeigt werden, zudem strahlten Fasern des ALL in das mittlere Drittel des LM ein (12,15–19). Terry et al. befassten sich mit dem TI und dessen Funktion, sie kamen zu dem Schluss, dass die tiefen, kapsulo-knöchernen Schichten

die Funktion eines anterolateralen Ligaments übernehmen (20). Metaanalysen kamen zu dem Schluss, dass das ALL eine ligamentöse Struktur an der anterolateralen Seite des Knies ist, der femorale Ursprung ist posterior und proximal des lateralen Epikondylus, es verläuft dann nach antero-distal und gibt Fasern in den LM ab und inseriert an der proximalen Tibia zwischen dem Fibulaköpfchen und dem Tuberculum Gerdy (21,22). Die Länge des ALL reicht von 30,4 bis 59 Millimeter (mm), die Breite liegt zwischen vier und sieben mm und die Dicke beträgt ein bis zwei mm (22).

Kreuzbänder

Im Zentrum des Kniegelenks befinden sich die beiden Kreuzbänder, diese sind von der Synovialmembran umhüllt, somit sind sie extraartikulär, jedoch zugleich liegen sie intrasynovial und intrakapsulär und nicht frei in der Gelenkhöhle (1). Das VKB hat eine trompetenförmige Ausbreitung mit einem geringeren Durchmesser im Zentrum als an den Ansatzflächen und zieht von der lateralen Innenfläche des Femurkondylus schräg von ventral nach kaudal und medial zum vorderen Anteil der Area intercondylaris der Tibia (23). Das vordere Kreuzband kann in ein antero-mediales, postero-laterales und intermediäre Hauptfaserbündel unterteilt werden (4). Guenther et al. untersuchten die Insertion des VKB und klassifizierten die tibiale Insertionen in elliptisch (Typ I), triangulär (Typ II) und „C“-förmig (Typ III), die femorale Insertion wurde als ovales Areal beschrieben (24). Das hintere Kreuzband ist dicker und zieht von der vorderen Innenfläche des medialen Femurkondyls nach lateral und dorsal und inseriert kaudal an der hinteren Area intercondylaris der Tibia (1). Es ist das kräftigste Band des Kniegelenks welches sich fächerförmig aufspannt, funktionell kann es in einen postero-medialen und anterolateralen Anteil unterschieden werden (23). Verstärkt werden die Kreuzbänder durch die meniskofemorale Bänder (23). Das Ligamentum meniskofemorale anterius, auch Ligamentum Humphry genannt, zieht vom Hinterhorn des LM an die laterale Seite des medialen Femurkondylus, wobei das hintere Kreuzband anterior gekreuzt wird (25). Das Ligamentum meniskofemorale posterius wird auch als Ligamentum Wrisberg bezeichnet, es zieht ebenfalls vom Hinterhorn des LM zum medialen Femurkondylus, kreuzt jedoch posterior das hintere Kreuzband (25).

Durch die besondere Faserarchitektur sind in jeder Stellung des Kniegelenks Teile der Kreuzbänder angespannt (1). In der Streckung ist der postero-laterale Anteil des vorderen Kreuzbandes angespannt und nur wenige Fasern des hinteren Kreuzbandes, in Beugung

stabilisiert der antero-mediale Anteil des vorderen Kreuzbandes und das hintere Kreuzband, mit den meisten seiner Fasern, das Kniegelenk (2). Bei Beugung und Innenrotation wickeln sie sich umeinander, wenn der Unterschenkel nach außen rotiert, entspannen sie sich und gehen in Parallelstellung, durch diese Konfiguration lässt sich der Unterschenkel mehr nach außen rotieren, als nach innen (2). Ihre Hauptaufgabe ist die Stabilisierung von Femur und Tibia, vor allem in der Sagittalebene, aber auch in der Frontal und Horizontalebene, somit können Femur und Tibia nicht gegeneinander verschoben werden (2). Hinzu kommt, dass bei gebeugtem Knie, die Kreuzbänder die einzige ligamentäre Sicherung darstellen (1).

1.2 Vordere Kreuzbandruptur

1.2.1 Epidemiologie

VKBR machen ungefähr 20% aller Knieverletzungen aus, das Hauptmanifestationsalter ist die dritte Lebensdekade (4).

1.2.2 Verletzungsmechanismus und Klinik

Die Verletzung des vorderen Kreuzbands lässt sich auf drei Unfallmechanismen zurückführen, der häufigste Unfallmechanismus ist ein Flexions-Valgus-Außenrotationstrauma, hierbei wird die Tibia bei gebeugtem Knie in Valgusstellung nach außen rotiert und das VKB reißt durch die hohe Spannungseinwirkung, bei so einem Unfallhergang zeigen sich häufig gleichzeitige Läsionen des VKB, des medialen Kollateralbandes und des MM, wenn diese Verletzungen gemeinsam auftreten wird dies „unhappy triad“ genannt (4). Der zweite Verletzungsmechanismus ist ein Flexions-Varus-Innenrotationstrauma, bei dem oft eine Begleitverletzung der anterolateralen Gelenkkapsel auftritt, als dritter, jedoch seltener, Verletzungsmechanismus können durch Hyperextensions- oder Hyperflexionstraumen VKBR auftreten (4). Bei akuten Verletzungen treten meist Schmerzen und ein Erguss im Kniegelenk auf, bei chronischen Verletzungen stehen die Instabilität mit dem „giving way“-Phänomen und die Muskelatrophie des Streckapparats im Vordergrund (4). Unter dem „giving way-Phänomen“ versteht man ein plötzliches Einknicken des Kniegelenks (26). Auch bei chronischer, antero-lateraler Instabilität, verschuldet durch eine Läsion oder erhöhte Beweglichkeit im mittleren Drittel des lateralen Kapselbandapparates, kann das „giving way-Phänomen“ auftreten (27).

1.2.2.1 Veränderungen der Biomechanik bei vorderen Kreuzbandrupturen

Der Bewegungsumfang ändert sich im verletzten Knie, eine Ruptur des postero-lateralen Faserbündels zeigt sich laut Furman et al. in einer vermehrten Hyperextension, einer vorderen Schublade in Extension, nicht aber in Flexion, und einer vermehrten Rotation nach innen und außen in Extension, bei gebeugtem Knie kommt es zur vermehrten Außenrotation (28). Wenn das antero-mediale Faserbündel gerissen ist, sieht man eine vordere Schublade im gebeugten Knie und eine Rotationsinstabilität in Extension, wenn das VKB komplett gerissen ist, zeigt sich eine vordere Schublade und Rotationsinstabilität in allen Positionen (28). Imhauser et al. konnten nachweisen, dass es bei einem gerissenen VKB zu einer Verschiebung der medialen und lateralen maximalen Druckzone nach posterior kommt (24). Papageorgiou et al. zeigten eine Belastungszunahme von 200% auf den MM bei Kniegelenken mit gekapptem VKB, außerdem kam es bei Meniskektomien des MM im Rahmen von VKB- Rekonstruktionen zu einem Anstieg der in-situ Kräfte des VKB-Transplantats um 30% bis 50% (29). Die höchste Belastung trat laut Allen et al. bei 60 Grad (°) Beugung auf (30). Bei einem Knie mit einer reinen VKBR ist die anteriore Translation der Tibia bei 30° am größten und wird bei höheren Beugungsgraden wieder kleiner (31). Diese Belastungsänderungen sind zum Großteil durch eine erhöhte anteriore, tibiale Translation bedingt (29). Diese Daten zeigen, dass der MM bei Patientinnen und Patienten mit chronischer VKBR höheren Belastungen ausgesetzt ist und ein höheres Verletzungsrisiko trägt (29).

1.3 Segondfraktur

Eine Segondfraktur ist ein vertikaler knöcherner Ausriss des ALL an der Insertion an der proximo-lateralen Tibia, posterior des Tuberculum Gerdy, die 1879 vom Paul Segond entdeckt wurde (32). Sie wird durch exzessive Innenrotation und Varusstellung des Kniegelenks in Flexion verursacht (33). Diese Fraktur ist pathognomonisch für eine VKBR (34).

1.4 Biomechanische Veränderungen bei ALL-Läsionen

Das ALL spannt sich bei Flexion kombiniert mit einer Innenrotation der Tibia (12,35). Churchill et al. postulierten, dass die transepikondyläre Bewegungsachse die optimale Flexions-Extensions-Achse des Knies sei, da in Flexion die Rotationsachse durch das mediale Gelenkcompartment verläuft, somit kommt es zu einer Verlängerung des

Hebelarms des ALL bei Knieflexion (36). Das ALL hemmt die Innenrotation der Tibia und fungiert als Stabilisator gegen die Innenrotation bei gebeugtem Kniegelenk (13,21,31). Wroble et al. fanden bei einer kombinierten Verletzung von VKB und ALL eine vermehrte anteriore und tibiale Translation bei allen Beugungswinkeln von 15-90° und eine vermehrte Innenrotation der Tibia bei 90° Flexion (31). Bei einer reinen ALL-Ruptur fand sich laut Parsons et al. keine vermehrte tibiale Translation nach anterior (35). Jedoch konnten Monaco et al. bei einer Verletzung der anterolateralen Strukturen eine bemerkenswerte Bewegungszunahme im Pivot-Shift Test (PST) zeigen (37). Arilla et al. verletzten die anterolaterale Gelenkkapsel und konnten eine vermehrte anteriore und tibiale Translation und eine vermehrte Innenrotation nachweisen (38). Hughston et al. kamen zu dem Ergebnis, dass eine antero-laterale Instabilität in der Rotation primär durch eine Läsion im mittleren Drittel des lateralen Kapselbandes verursacht war, welche durch eine Läsion im VKB verstärkt wurde (27). Al Saiegh et al. widersprachen diesem Postulat, in ihrer Studie zeigte sich keine vermehrte Rotation- oder Translationsbewegung zwischen Kniegelenken mit VKBR und Kniegelenken mit VKB- und ALL- Ruptur, jedoch wurde in dieser Studie der TI belassen (39). Wie Suero et al. zeigen konnten, dient der TI als wichtiger Stabilisator gegen die anterotibiale Translation, bei entferntem TI traten eine vermehrte Beweglichkeit im PST und im Lachman-Test auf (40). Parsons et al. zeigten, dass eine zunehmende Innenrotation der Tibia zur vermehrten Anspannung des ALL und gleichzeitig zur vermehrten Entspannung des VKB führt, somit kann das ALL als Antagonist zum VKB bei Rotationsbewegungen, besonders bei Beugungswinkel über 35°, gewertet werden (35). Laut Park et al. führten kombinierte Verletzungen von VKB und ALL zu vermehrtem Pivot-shift (41). Die zwei Faktoren, die anterolaterale Rotationsinstabilität bedingen, sind VKBR und ALL-Rupturen, wobei eine VKBR häufiger eine Instabilität verursacht als eine ALL-Ruptur (41).

1.5 Meniskusverletzungen

Meniskusrisse findet man bei 55% bis 80% der Patientinnen und Patienten, die eine VKB-Verletzung erlitten haben (42–44). Bei akuten VKBR ist häufiger der LM betroffen, Risse im MM treten vermehrt bei Kniegelenken mit chronisch gerissenem VKB auf (42). Der MM neigt zur Schädigung wenn starke Scherkräfte auf ein belastetes Knie einwirken (26). Daraus ergibt sich eine Korrelation zwischen der Dauer bis zur VKB-Rekonstruktion und der Inzidenz von begleitenden Meniskusläsionen (45,46). Besonders signifikant ist hierbei die stark steigende Inzidenz von Läsionen im MM bei verzögerter VKB-Rekonstruktion

(43,47). Vice versa erhöhen mediale- oder laterale- Meniskusinstabilität das Risiko für ein Versagen der VKB-Rekonstruktion (48). Darum ist die zeitnahe Versorgung einer VKBR wichtig, um Sekundärschäden an den Menisci und am Gelenksknorpel zu vermeiden (42,49). Meniskusrisse, assoziiert mit VKBR sind am häufigsten im peripheren, medialen Hinterhorn lokalisiert, diese Risse machen 40% aller Meniskusrisse und 75% der medialen Meniskusrisse aus. Hierbei wird jedoch nicht zwischen Läsionen im meniskokapsulären Übergang oder Läsionen im Hinterhorn des MM unterschieden (50).

Meniskusverletzungen können in traumatische und degenerative Meniskusverletzungen unterteilt werden, traumatische Meniskusverletzungen treten meist durch ein akutes, indirektes Trauma auf, bei welchem der LM meist durch eine Außenrotations- und Flexionsbewegung unter Valgusstress am nicht belasteten Knie verletzt wird, es treten Schmerzen und ein deutlicher Gelenkserguss auf, häufig kommt es auch zur Einklemmung des Meniskus und somit zu Blockaden im Kniegelenk (4). Akute Risse können in einen intrasubstanziellen Riss, einen Teilriss und einen Komplettriss eingeteilt werden, ein Teilriss kann durch selektives Prüfen mit dem Arthroskop lokalisiert werden, bei einem Komplettriss kann die Tibia sichtbar sein (51). Das Hauptmanifestationsalter der traumatischen Risse ist das 3. Lebensjahrzehnt, chronische, degenerative Meniskusverletzungen treten häufiger ab dem 40. Lebensjahr auf und betreffen häufig das Hinterhorn des MM, meist ist kein definierbares Trauma bekannt, aber es bestehen häufig Schmerzen mit einem geringgradigen Gelenkserguss. (4). Chronische Meniskusläsionen zeigen meist eine komplexe Rissbildung mit Rissen, die in der Faserrichtung und entgegengesetzt der Faserrichtung laufen, welche meist durch wiederholte Mikrotraumatisierung und Fehlbelastungen, wie Achsenfehlstellungen, auftreten (4). Risse des MM beginnen oft in der Zone der Maximalbelastung am Übergang zwischen Hinterhorn und mittlerem Drittel (4). Risse entlang der Meniskusfasern werden Longitudinalrisse bezeichnet, dies ist der häufigste Meniskusrisstyp (52). Wenn sich ein Longitudinalriss nach medial-dorsal ausdehnt führt das zu einem Lappenriss (4). Vertikale Longitudinalrisse, die sich vom Hinterhorn bis zum Vorderhorn des Meniskus erstrecken und in die Area intercondylaris dislozieren, werden Korbhenkelrisse genannt (4). Radiärrisse verlaufen quer zu den Meniskusfasern, sie beginnen in der Zone 3, am inneren Rand des Meniskus, und dehnen sich Richtung Meniskusbasis aus (4). Horizontalrisse sind gekennzeichnet durch einen horizontalen Rissverlauf in der Faserstruktur des Meniskus (4). Oblique Risse sind eine Kombination aus radiären und longitudinalen Rissen und

werden auch „parrot beak tears“ genannt (53). Bei komplexen Rissen zeigen sich multiple Läsionen mit unterschiedlichen Orientierungen, durch Fragmentierung und degenerative Prozesse kann es zum Verlust von Meniskusgewebe kommen, die bis zum Form- und Funktionsverlust des Meniskus führen können (53). Die abgetrennten Meniskusfragmente finden sich meistens in der Area intercondylaris oder in den superioren oder inferioren Recessus der Kniegelenkscapsel, eine Fragmentierung und Deplatzierung ist bei Läsionen im MM häufiger als beim LM, da der LM beweglicher ist (53).

1.5.1 Rampen Läsionen

Im Buch „Manual of Arthroscopic Surgery“ beschrieb Strobel die Rampenläsion als longitudinalen Riss von 2,5 Zentimeter (cm) Länge am meniskokapsulären Übergang des PHMM, die typischerweise mit einem Riss des VKB einhergeht, sie wurde von Strobel Rampenläsion genannt, um sie von anderen posterioren Longitudinalrissen zu unterscheiden (51). DePhillipo et al. konnten bei der anatomischen Untersuchung der meniskokapsulären Verbindung des PHMM eine medio-laterale Ausdehnung von 2 cm finden (10). Manche Autorinnen und Autoren definieren die Rampenläsion als einen vertikalen Riss in der meniskokapsulären Verbindung zwischen Gelenkscapsel und PHMM, oder als Riss in der peripheren rot-rot Zone des PHMM (54,55). Bollen et al. beschrieben Risse im MM, beginnend im Übergang zwischen mittlerem und hinterem Drittel des MM und nach lateral an eine Verstärkung der Gelenkscapsel ziehend, als Rampenläsionen (56). Seit der ersten Beschreibung wurde eine Vielzahl an Begriffen, wie meniskokapsuläre Separation, meniskosynovialer Riss, „hidden lesion“ und Rampenläsion für die gleiche Verletzung verwendet (10).

Greif et al definierten Rampenläsionen als longitudinale, medio-laterale, vertikal oder schräg verlaufende Risse die sich zwischen der rot-rot Zone des PHMM und der postero-medialen Gelenkscapsel befanden und Kontakt zu der inferioren, der superioren oder beiden Gelenkflächen des MM aufwiesen (57).

1.5.1.1 Verletzungsmechanismus

Die Verletzungsmechanismen die zu Rampenläsionen führen sind noch nicht vollständig geklärt. Zurzeit bestehen zwei Theorien, die das Entstehen von Rampenläsionen bei VKBR zu erklären versuchen. Kaplan et al. konnten zeigen, dass bei einem kompletten Riss des VKB, der hintere Teil des lateralen Tibiaplateaus mit dem lateralen Femurkondyl kollidiert und eine Kontusion oder Impressionsfraktur verursacht, durch eine kompensatorische Varusstellung des Femurkondyls kommt es im medialen Kompartiment zu Kontusionen

und Verletzungen im PHMM, oder am Übergang des MM Hinterhorn und in die Kapsel, die medialen Kontusionen und Meniskusverletzungen treten als Contrecoup Verletzungen durch Schermechanismen und Kompression während der Subluxation der Tibia mit gleichzeitiger Rotation des Femurs gegenüber der Tibia auf (58). Diese Mechanismen erzeugen eine Druckerhöhung von bis zu 200% auf das PHMM, diese Druckerhöhung erklärt die hohe Rate von akuten Rissen im PHMM bei kompletten VKBR (30,59). Die Kontraktion des MS, durch seine Insertion an der postero-medialen Kapsel, könnte eine weitere Ursache für eine Rampenläsion bei Kniegelenken mit fehlendem VKB sein, hierfür verantwortlich ist die erhöhte anteriore tibiale Translation, die zur Einklemmung des PHMM zwischen Femur und Tibia führt, währenddessen der MS durch Kontraktion an der postero-medialen Kapsel zieht und somit Rampenläsionen verursachen kann, obwohl dieser Verletzungsmechanismus während einer VKBR auftreten kann ist es wahrscheinlicher, dass die folgende Instabilität nach einer VKBR zu einem Einklemmen des PHMM führt und somit, durch diese wiederkehrenden Traumata, Rampenläsionen verursacht (60).

1.5.1.2 Biomechanische Veränderungen bei Rampenläsionen

Die exakten biomechanischen Auswirkungen von Rampenläsionen des MM werden nach wie vor noch untersucht und diskutiert. Künstlich gesetzte Rampenläsionen im MM in Kniegelenken mit intaktem VKB führten laut Naendrup et al. zu keiner signifikanten Veränderung der Kniegelenkskinematik (61). Laut Bollen et al. kam es bei Rampenläsionen in Kniegelenken mit VKBR nur zu einer geringgradig vermehrten antero-medialen Subluxation der Tibia bei Rotation (56). Die meisten Studien deuten jedoch darauf hin, dass Rampenläsionen die Kniestabilität und Kinematik beeinflussen.

Rampenläsionen, bei Kniegelenken mit fehlendem VKB, resultieren in einer signifikant vermehrten anterioren Translationsbeweglichkeit und Außenrotationsinstabilität der Tibia (62,63). Zudem führen Rampenläsionen zu einer signifikanten Zunahme der antero-posterioren Laxität der Tibia in allen Beugungsgraden, die kaum einen Unterschied, zu Kniegelenken mit einer totalen Meniskektomie zeigen (64). Risse zwischen der meniskokapsulären-, oder meniskotibialen Verbindung und dem PHMM können zur vermehrten Beweglichkeit beim PST bei Innenrotation, Außenrotation und anterioren tibialen Translation führen (60,65). Erst nach einer VKB-Rekonstruktion und einer Naht des PHMM oder der meniskokapsulären und meniskotibialen Läsionen ist keine vermehrte Beweglichkeit im PST nachweisbar (62,65).

Risse im PHMM zeigen zudem eine signifikante Drucksteigerung im medialen Kompartiment (63). Edgar et al. konnten eine erhöhte anteriore und tibiale Translation, besonders bei 30° Knieflexion, und eine erhöhte Belastung des VKB zwischen 30° und 90° Flexion bei Kniegelenken mit Rampenläsionen zeigen, diese erhöhte Belastung des VKB könnte der Grund für ein frühzeitiges Versagen der VKB-Plastik sein (66). Peltier et al untersuchten die biomechanischen Auswirkungen der unterschiedlichen Läsionen separat, die Durchtrennung des meniskotibialen Ligaments resultierte in einer vermehrten internen und externen Rotation bei Kniegelenken mit VKBR (11). Eine Separation des meniskokapsulären Bandes führte zu einer vermehrten Beweglichkeit des PHMM mit einer vermehrten Rotationsinstabilität (11). Läsionen im peripheren PHMM, diese als Rampenläsionen bezeichnet, bei Kniegelenken mit VKBR zeigten eine vermehrte tibiale Translationsbeweglichkeit (11). Mouton et al zeigten, dass Rampenläsionen die Wahrscheinlichkeit für einen Grad III PST im Vergleich zu isolierten VKBR um 23% erhöhten und untermauerten somit die Rolle, die das PHMM in der dynamischen Rotationsstabilität des Kniegelenks spielt (67).

1.5.1.3 Prävalenz und Risikofaktoren

Rampenläsionen treten meist in Verbindung mit VKBR auf und am häufigsten traten Rampenläsionen bei jungen Männern unter 30 Jahren auf (54,68,69). Malatray et al. konnten jedoch keinen Unterschied in der Prävalenz von VKB assoziierten Rampenläsionen zwischen Kinder und Erwachsenen finden (45). Rampenläsionen waren assoziiert mit Kontaktverletzungen, einem Knochenmarksödem in der postero-medialen Tibia und einem gleichzeitigen Riss des LM. Diese Begleitverletzungen traten vor allem bei instabilen Rampenläsionen auf (70). Laut Sonnery-Cottet et al. waren eine erhöhte antero-posteriore Translationsbeweglichkeit mit einer Differenz von über sechs Millimetern zum gesunden Kniegelenk und wiederholte VKB-Rekonstruktionen Risikofaktoren für Rampenläsionen (69). Eine erhöhte Neigung der superioren Gelenksfläche des MM war laut Song et al. ein zusätzlicher, unabhängiger Risikofaktor für eine Rampenläsion bei VKBR (59).

Die Prävalenz von Rampenläsionen schwankt je nach Studie und Definition der Rampenläsion stark. Liu et al. konnten zeigen, dass die Prävalenz von Rampenläsionen in den ersten zwei Jahren nach einer VKBR stark anstieg (54). Durch die fehlende Stabilisierung des VKB ist das PHMM vermehrten Scherkräften ausgesetzt und somit

kommt es häufiger zu Rampenläsionen als bei akuten Traumata, dadurch besteht bei nicht versorgten, chronischen VKBR eine erhöhte Prävalenz von Rampenläsionen (54,68,69). Die Prävalenz von Rampenläsionen, in der Literatur, wird in Tabelle 1 dargestellt.

Autor	Prävalenz von Rampenläsionen	Nachweis in der Magnetresonanztomographie (MRT)/ Arthroskopie
Edgar et al. (66)	13%	Arthroskopie
Liu et al. (54).	17%	Arthroskopie
Bollen et al. (56)	9,3%	Arthroskopie
DePhillipo et al. (68)	17%	Arthroskopie
Seil et al. (71)	24%	Arthroskopie
Sonnery-Cottet et al. (69)	23,9%	Arthroskopie
Sonnery-Cottet et al. (72)	17%	Arthroskopie
Balazs et al. (70)	42%	3 Tesla (T)- MRT

Tabelle 1- Prävalenz von Rampenläsionen in der Literatur

Chen et al. untersuchten 46 Patientinnen und Patienten mit VKBR und Rampenläsionen und unterteilten Rampenläsionen in Risse des meniskotibialen Ligaments, in Risse des meniskokapsulären Ligaments und in kombinierte Risse, 39% der Rampenläsionen waren Risse im meniskotibialen Ligament, 28% zeigten Risse im meniskokapsulären Ligament und 32,5% wiesen kombinierte Risse auf (73).

1.5.1.4 Klassifikation von Rampenläsionen

Thaunat et al. klassifizierten Rampenläsion als Risse im PHMM, die sich am meniskokapsulären Übergang befanden oder nicht mehr als drei Millimeter davon entfernt waren, diese wurden in fünf Typen unterteilt, Typ eins und zwei wurden als stabil und Typ drei bis fünf als instabil klassifiziert (55). Diese Klassifikation beinhaltet jedoch nicht die medio-laterale Ausdehnung der Läsion, oder das Verhalten in Bewegung des Kniegelenks. Darum postulierten Seil et al eine Klassifikation, die zwischen kompletten Läsionen, die von zentral weit nach medial reichen, und Teilläsionen, die entweder zentral oder medial gelegen sind, unterscheidet (74). Zudem werden Rampenläsionen noch in adhärenente und dehiszente Läsionen unterteilt, bei den adhärenenten Läsionen haftet der kapsuloligamentäre Komplex an der Hinterwand des MM (74). Bei den dehiszenten Läsionen erfolgt eine weitere Unterteilung in Rampenläsionen, bei welchen der kapsuloligamentäre Komplex weder in Beugung noch in Streckung an der Hinterwand des MM haftet und in Rampenläsionen, bei welchen es in Streckung nicht zur Reposition des

kapsuloligamentären Komplexes kommt, das größere Potential zur Spontanheilung haben die adhärenen Läsionen (74). Aufgrund der fehlenden medio-lateralen Ausdehnung, sowie dem fehlenden Verhalten in der Bewegung, modifizierten Greif et al. die Klassifikation von Rampenläsionen nach Thauinat et al (57).

Klassifikation von Rampenläsionen nach Greif et al.(57)

Typ 1

Typ 1 Läsionen sind meniskokapsuläre Läsionen (55). Risse des meniskokapsulären Bandes führen zu einer Separation von PHMM und Gelenkkapsel, wobei das PHMM und das meniskotibiale Band intakt bleiben (57). Diese Läsionen sind weit peripher im postero-medialen, synovialen Mantel und zeigen wenig Beweglichkeit bei der Untersuchung, weshalb sie auch in der Arthroskopie schwer zu entdecken sind, dieser Typ wird als stabil eingestuft (55).

Typ 2

Typ 2 Läsionen sind superiore Teilrisse des PHMM, wobei die meniskokapsuläre Verbindung intakt bleibt (55,57). Es handelt sich hierbei nur um einen partialen Riss des MM, der stabiler als eine Typ 1 Läsion eingeschätzt wird, da die Läsion auch in der Untersuchung weniger mobil ist (57).

Typ 3

Typ 3 Läsionen sind inferiore Teilrisse und werden auch als „hidden lesion“ bezeichnet, sie befinden sich im inferiorsten Teil des PHMM und sind assoziiert mit Instabilitäten des meniskotibialen Bandes (55,57). Diese Verletzungen sind in der Arthroskopie nicht sichtbar, da hierbei nur die synoviale Membran und nicht das meniskotibiale Ligament sichtbar ist (55). Eine Typ 3 Läsion kann vermutet werden, wenn signifikante Beweglichkeit bei der Untersuchung des PHMM besteht, deshalb gelten Typ 3 Läsionen als instabil.(55). Greif et al. subklassifizieren Typ 3 Läsionen weiter in Typ A und Typ B Läsionen (57). Typ 3A ist ein vertikaler, peripherer Riss am inferioren Rand des PHMM, das meniskotibiale Ligament ist intakt, hat jedoch keinen Kontakt zum PHMM und ist deshalb instabil (57).

Eine Typ 3B Läsion ist ein Riss des meniskotibialen Ligaments, oder ein Riss der Insertion am MM, hierbei besteht keine Schädigung im MM selbst (57).

Typ 4

Ursprünglich von Thaanen et al. beschrieben ist eine Typ 4 Läsion ein Komplettriss der rot-rot Zone des PHMM, dieser Riss ist mit einer hohen Beweglichkeit verbunden (55). Auch hier unterscheiden Greif et al. in Typ- A, und Typ-B Läsionen (57).

Eine Typ 4A Läsion kennzeichnet sich durch einen kompletten, longitudinalen, vertikalen Riss der rot-rot Zone des PHMM, mit intakten meniskotibialen und meniskokapsulären Befestigungen am gerissenen Meniskusfragment (57). Dies führt zur Instabilität beider oben genannten Strukturen (55). Aufgrund der guten Durchblutung dieser Meniskusregion haben diese Läsionen ein höheres Heilungspotential, als die anderen Typen (75).

Eine Typ 4B Läsion ist ein Komplettriss der meniskokapsulären und meniskotibialen Verbindung, im MM selbst ist keine Läsion vorhanden, aufgrund der geringeren Durchblutung der Ligamente, besteht eine schlechtere Heilungskapazität und es sollte eine umfangreichere, chirurgische Versorgung erfolgen (57).

Typ 5

Eine Typ 5 Läsion kennzeichnet sich durch zwei separate Risse in der rot-rot Zone des PHMM (55). Gleich wie bei Typ 4A Läsionen sind das meniskotibiale und das meniskokapsuläre Ligament intakt, aufgrund der großen Beweglichkeit des PHMM bei Doppelrissen sind Typ 5 Läsionen die am leichtesten, arthroskopisch auffindbaren Rampenläsionen, jedoch sind sie aufgrund der größeren, verletzten Meniskusoberfläche schwerer zu versorgen als Typ 4A Läsionen (57).

1.6 Orthopädische Tests

1.6.1 Kreuzbandverletzungen

Bei Kreuzbandverletzungen wird die sagittale Stabilität beurteilt, die durch die Translation nach anterior und posterior in drei Graden angegeben wird, das verletzte Knie wird immer mit der gesunden Gegenseite verglichen (76). Der Lachman-Test hat die höchste Validität bei VKB Läsionen, jedoch korreliert der PST mehr mit der funktionellen Instabilität und mit dem Outcome, da er die Rotations- und Translationale- Instabilität bei einer VKBR besser reproduziert (77).

Lachman-Test

Um den Lachman-Test durchführen zu können, muss die Patientin oder der Patient am Rücken liegen, das Knie ist zwischen 15-30° gebeugt und die Muskulatur muss entspannt sein (76). Die untersuchende Person fixiert den Femur mit einer Hand und zieht mit der anderen Hand die Tibia nach vorne (76). Der Test ist positiv, wenn sich die Tibia mehr als drei Millimeter nach anterior verschieben lässt, weiters sprechen ein weicher oder fehlender Anschlag für eine vordere Kreuzbandläsion (76).

Schublade

Dieser Test erfolgt in der gleichen Position wie der Lachman-Test, wobei sich das Knie jedoch in 90° Beugung befindet, wenn vermehrte Verschieblichkeit nach vorne auftritt, spricht man von einer vorderen Schublade, welche für eine VKBR spricht (26). Bei vermehrter Verschieblichkeit nach hinten spricht man von einer hinteren Schublade, welche für eine Läsion des hinteren Kreuzbandes spricht (26).

PST

Beim PST liegt die Patientin oder der Patient am Rücken, die untersuchende Person rotiert den Unterschenkel nach innen und übt einen Valgusstress auf das gestreckte Kniegelenk aus, wenn das VKB rupturiert ist, steht der Tibiakopf in der Untersuchungsposition etwas anterior subluxiert (26). Nun wird das Knie von der Extensionsstellung immer mehr in Flexionsstellung gebracht, bei circa 30° Beugung kommt es zur spontanen Reposition des subluxierten Tibiakopfs nach hinten (26). Verantwortlich für dieses Phänomen ist der TI, er verläuft in der Extension vor dem lateralen Femurepikondylus und bei vermehrter Flexion verlagert sich seine Bewegungsachse hinter den Epikondylus (26). Der Nachteil des PST ist, dass er auf das subjektive Gefühl der untersuchenden Person vertraut, dadurch zeigt sich, je nach untersuchender Person, eine hohe Variabilität (77). Bedi et al. konnten zeigen, dass die anteriore Translationsbewegung des lateralen Kompartiments mit dem Ausmaß des PST in Korrelation stand, diese Translationsbewegung des lateralen Kompartiments war messbar und machte dadurch den PST objektivierbar, somit waren auch Verlaufsmessungen, sowie prä- und postoperative Unterschiede messbar (78). Sonnery-Cottet et al. teilen den PST in Grade von 0-III ein (21). Grad 0 ist der Normalbefund, Grad I ist eine gleitende Subluxation, Grad II ist eine Subluxation mit einem leichten Ruck und Grad III ist gekennzeichnet durch ein signifikanten Ruck oder

einer Einklemmung und Blockierung des postero-lateralen Tibiaplateaus gegen den lateralen Femurkondyl (21).

Jerk-Test

Der Jerk-Test ist im Prinzip gleich wie der PST, die Untersuchung beginnt aber mit gebeugtem Knie und das Bein wird langsam ausgestreckt (79). Die Patientin, der Patient liegt auf dem Rücken mit 90° gebeugtem Kniegelenk, die untersuchende Person übt einen Valgusstress auf das Knie und eine Innenrotation der Tibia aus und streckt das Bein langsam, bei einem positiven Test findet sich bei 30° die größte Subluxation des Tibiakopfs, wenn das Bein weiter gestreckt wird kommt es zur spontanen Reposition (79).

1.6.2 Meniskusverletzungen

Die Untersuchung auf Meniskusverletzungen erfolgt mittels Manipulation des Kniegelenks und Kompression des Gelenkspalts. Die Tests sind positiv bei Druckschmerzhaftigkeit im entsprechenden Gelenkskompartiment (26). Für Rampenläsionen besteht kein spezifischer Test.

Böhler-Test

Beim Böhler-Test wird der MM überprüft, indem die untersuchende Person einen Varusstress auf das Kniegelenk ausübt, wenn dies Schmerzen verursacht ist der Test positiv (26).

Steinmann-I-Test

Beim Steinmann-I-Test wird das Kniegelenk bei 30° Flexion ruckartig nach außen und innen rotiert, bei einer Läsion im MM kommt es zu einem Schmerz im inneren Gelenkspalt, bei externer Rotation, bei einer Läsion im LM tritt bei interner Rotation ein Schmerz im äußeren Gelenkspalt auf (80).

Steinmann-II-Test

Beim Steinmann-II-Test wandert bei passiver Knieflexion der Druckschmerz nach dorsal, dies kann durch die Eigenbeweglichkeit der Menisci in der Bewegung des Kniegelenks erklärt werden (80).

Payer-Test

Der Payer-Test erfolgt durch einen Varusstress im Schneidersitz, dieser ist hinweisend auf eine Hinterhornläsion des MM (26).

Apley-Test

Die Patientin oder der Patient liegt auf dem Bauch und die untersuchende Person rotiert die Tibia und übt gleichzeitig einen Zug oder Druck auf das 90° gebeugte Kniegelenk aus, bei schmerzhafter Innenrotation besteht der Verdacht auf eine Läsion im LM, wenn die Außenrotation schmerzhaft ist kann es sich um eine Schädigung des MM handeln (26).

McMurray

Der McMurray-Test ist eine Kombination verschiedener Meniskustests, es wird Druckschmerzhaftigkeit, im entsprechenden Gelenkskompartiment, oder ein spürbares Schnappen beurteilt (76). Beim Meniskustest modifiziert nach McMurray wird das Bein von der untersuchenden Person an Knie und Fuß ergriffen und die untersuchende Person flektiert das Bein der Patientin oder des Patienten stark im Hüft- und Kniegelenk (76). Bei der Testung des MM wird der mediale Gelenkspalt in gleichzeitiger Außenrotation und Varusstellung palpirt, und das Kniegelenk langsam in eine Streckung überführt, wenn das Kniegelenk gebeugt ist, wird vermehrt das Hinterhorn getestet, hingegen wird in Streckung vermehrt das Vorderhorn getestet (76). Zur Überprüfung des LM wird der gleiche Vorgang wiederholt, aber das Kniegelenk wird in eine Innenrotation mit Valgusstress versetzt und es wird am lateralen Gelenkspalt palpirt und das Kniegelenk langsam in Extension überführt (76).

1.7 Multiparametrische Magnetresonanztomographie (MRT) des Knies

1.7.1 Physikalische Grundlagen der MRT

Beim Menschen ist das Wasserstoffproton für die Kernmagnetresonanz verantwortlich, da es das häufigste Molekül im menschlichen Körper mit ungerader Nukleonenzahl ist (81). Jedes Proton hat einen Eigendrehimpuls, auch Kernspin genannt, wobei sich seine positive Ladung um die eigene Achse bewegt, diese bewegte, elektrische Ladung hat stoffspezifische Geschwindigkeiten und erzeugt ihr eigenes Magnetfeld (81). Im Körper sind diese Magnetfelder ungeordnet und kompensieren sich gegenseitig, wenn jedoch ein

starkes äußeres Magnetfeld, wie zum Beispiel das starke Permanentmagnetfeld eines MRTs, auf die magnetischen Dipole einwirkt, richten sich diese entlang der Feldlinien parallel oder antiparallel aus (81). Die Mehrheit der Protonen richtet sich längs nach der Parallelachse ein, da diese energetisch günstiger ist, und eine messbare Längsmagnetisierung entsteht (81). Als Präzessionsbewegung wird die torkelnde Rotation um die Längsachse des Magnetfeldes verstanden, durch den starken äußeren Magneten wird den Protonen eine Frequenz aufgezwungen, mit der ihre Ladung rotiert, diese Larmorfrequenz hängt von der Stärke des äußeren Magneten und von einer stoffspezifischen Konstante ab (81). Danach können die Protonen mittels Hochfrequenzimpuls (HF) angeregt werden, durch die Ausrichtung aller Protonen, die alle die gleiche Larmorfrequenz besitzen, kommt es zur Resonanz (81). Es entsteht eine Quermagnetisierung, da einige Protonen in den antiparallelen Zustand gebracht werden und von der Längsmagnetisierung ausgelenkt werden, weiteres kommt es zu einer Synchronisierung der Protonen um die Achse des Hauptmagnetfeldes, wenn der Impuls abgeschaltet wird, kehren die Protonen von ihrem antiparallelen, in ihren parallelen Grundzustand, auch Relaxation genannt, zurück und geben die aufgenommene Energie als magnetischen Impuls wieder ab (81). Diesen Impuls kann man messen und für die Bildgebung nutzen (81). Die Relaxation kann in eine Längsrelaxation und eine Querrelaxation unterteilt werden, bei der Längsrelaxation wird Energie in die Umgebung abgegeben, da sich die Protonen wieder in der Längsmagnetisierung des Hauptmagnetfeldes ausrichten, sie wird mit der Zeitkomponente T1 dargestellt und ist abhängig von der Dauer, die die Protonen benötigen, um ihre Energie an die Umgebung abzugeben, die T1-Zeit ist erreicht, wenn 63% der Protonen in ihre ursprüngliche Position zurückgekehrt sind (81). Die Querrelaxation beschreibt die Desynchronisation der Präzessionsbewegung (81). Die T2-Zeit wird als Abnahme des Gesamtmagnetisierungsvektors in der Axialebene definiert und ist auch von den einzelnen Spins abhängig, da sich diese gegenseitig beeinflussen können, wenn sich die Spins gegenseitig wenig beeinflussen, ist die T2-Zeit lange (81). Eine Sequenz ist eine Folge mehrerer HF-Impulse (81). Die Zeit dazwischen wird Repetitionszeit genannt und Echozeit (TE) ist die Zeit zwischen Anregung und Signalaufnahme (81). Die Signalintensität kann durch Gewebeparameter, wie Dichte, T1- und T2-Zeiten beeinflusst werden, weiters können Sequenztyp und die Wahl der Parameter die Intensität beeinflussen (81).

Bei der Beurteilung von kollagenen Strukturen muss an den „magic angle“ gedacht werden, dies ist ein Artefakt, der bei Sequenzen mit einer kurzen TE auftritt, er ist beschränkt auf geordnete Kollagenstrukturen, bei einem Winkel von $54,74^\circ$ zum Hauptmagnetfeld, bei diesem Artefakt erscheinen die Strukturen hyperintens und können fälschlicherweise als Pathologien gedeutet werden (82).

1.7.2 Meniskuläsionen in der MRT

Bänder, Sehnen und Menisci haben alle eine geordnete Kollagenstruktur, diese Struktur führt dazu, dass sie in den traditionellen MRT-Sequenzen eine niedrige Signalintensität haben, Risse oder degenerative Veränderungen manifestieren sich in einer erhöhten Signalintensität (83). Zur Beurteilung der Menisci werden vor allem Sequenzen mit einer kurzen TE, wie zum Beispiel T1- oder protonengewichtete-Sequenzen verwendet. Um Pathologien wie Risse erkennen zu können werden flüssigkeitssensitive, T2-gewichtete Sequenzen verwendet, da diese auch Begleitverletzungen, wie zum Beispiel Knochenmarködeme gut darstellen (83). Da Fettgewebe in T2-gewichteten Sequenzen eine ähnlich hohe Signalintensität wie Wasser aufweist, ist eine Unterscheidung oft schwierig, darum sollte eine Evaluierung von meniskokapsulären Läsionen in Fett unterdrückten T2- oder protonen-gewichteten Sequenzen erfolgen (84). Bei den Menisci wird die Form und Position beurteilt und ob eine Signalalteration in Form eines Risses oder einer degenerativen Veränderung besteht, sekundäre Zeichen von Meniskuläsionen sind ein Überstehen des Meniskus über die Gelenkfläche hinaus und subchondrale Ödeme (83).

Horizontale Risse verlaufen parallel zum Tibiaplateau und zeigen sich in der MRT als horizontal orientierte Linien mit erhöhter Signalintensität, welche sich bis an die Meniskusoberfläche ausdehnen können (85). Sie treten häufiger als Folge degenerativer Prozesse auf (53). Vertikale Risse sind senkrecht zum Tibiaplateau verlaufend und meist durch traumatische Ereignisse verursacht (53). Longitudinalrisse haben fast immer Kontakt zum Hinterhorn, zeigen eine vertikale Orientierung und dehnen sich zirkumferentiell im Meniskus aus (85). In der MRT zeigt sich eine vertikale Signalalteration, die mit der superioren, inferioren oder beiden Meniskusoberflächen Kontakt hat, diese Risse sind fast immer mit signifikanten Knieverletzungen vergesellschaftet, speziell mit VKBR (85). Longitudinalrisse können nach zentral umschlagen und einen sogenannten Korbhenkelriss bilden, in der MRT verläuft der umgeschlagene Teil des Meniskus dann parallel zum hinteren Kreuzband, was das „double posterior cruciate ligament sign“ ergibt (85). Radiäre Risse zeigen sich in der MRT als vertikale Signalalterationen, die vom freien Ende in den

Meniskus ziehen, die häufigsten Lokalisationen dieser Risse sind das PHMM und der Übergang zwischen Vorderhorn und Pars intermedia des LM (85). Subchondrale Knochenmarködeme und parameniskale Zysten, die in T2-gewichteten Sequenzen gut darstellbar sind, gehören zu den indirekten Zeichen einer Meniskusläsion (85). Komplexe und horizontale Risse sind einfacher zu erkennen als vertikale Risse, speziell radiäre Risse und meniskokapsuläre Läsionen des PHMM sind schwer zu diagnostizieren (53). Meniskokapsuläre Separationen können außerdem schwer von peripheren Longitudinalrissen des PHMM zu unterscheiden sein (83).

1.7.3 VKBR in der MRT

Primäre Zeichen einer akuten oder rezenten VKBR sind eine Kontinuitätsunterbrechung des VKB mit welligem Verlauf des gerissenen Bandes und eine ödembedingte Signalanhebung in den Protonen- und T2-gewichteten Sequenzen, ein wichtiges sekundäres Zeichen ist die anteriore Translation der Tibia (83). Akute oder subakute Risse des VKB sind fast immer mit einem Knochenmarködem im posterioren, lateralen Tibiaplateau und im lateralen Femurkondyl vergesellschaftet, die Lokalisation und das Ausmaß werden durch den Grad der Flexion des Knies zurzeit der Verletzung bestimmt (83). Weitere sekundäre Zeichen sind neben einem Knochenmarksödem, ein Hämarthros, sowie Impressionsfrakturen im lateralen Femurkondyl (83). Die axiale Sequenz ist gut geeignet um Teilrisse von kompletten Rupturen, vor allem im proximalen und mittleren Anteil des VKB, zu unterscheiden, die distalen Fasern sind axial durch eine geringere Abgrenzung und Volumenmittelung schlechter darstellbar (83). Chronisch, komplett- oder teilgerissene VKB sind häufig horizontaler gestellt als intakte VKB und können mit dem hinteren Kreuzband vernarben (83).

1.7.4 ALL Ruptur in der MRT

Das unauffällige ALL zeigt sich in der MRT als kontinuierliche Bandstruktur mit niedriger Signalintensität, die vom lateralen Femurkondyl zur anterolateralen Tibia zieht (19,86–89). Zur Identifikation des ALL kann die Arteria inferior lateralis genus als anatomischer Referenzpunkt genutzt werden, da diese zwischen dem LM und dem ALL liegt (90). Durch die Verbindung zum LM kann das ALL in einen femoralen Anteil, einen Meniskus nahen Anteil und einen tibialen Anteil unterteilt werden (86,87). Der tibiale Anteil des ALL ist der am häufigsten sichtbare Anteil des ALL in der MRT, der femorale Anteil ist, durch seine Nähe zum lateralen Kollateralband und zur Sehne des Musculus popliteus, in der MRT oft schwer von diesen Strukturen zu unterscheiden (86–88,91).

Helito et al. sowie Kizilgöz et al. untersuchten die Sichtbarkeit des ALL in der MRT und kamen zu dem Schluss, dass die koronare Schnittebene die beste war um das ALL zu beurteilen, die besten Sequenzen zur Darstellung des ALL waren die protonengewichtete- und T2-gewichtete Sequenzen mit Fettunterdrückung (86,92). Helito et al. konnten in 71,7% der Fälle das ganze ALL darstellen und bei 97,4% konnte zumindest ein Teil dargestellt werden (86). Devitt et al. nutzten 3T-MRT Untersuchungen, konnten das ALL jedoch nur zu 64% in unverletzten Kniegelenken und zu 71% in Kniegelenken mit VKBR darstellen, das gesamte ALL war nur bei 23% der unverletzten Kniegelenke und in 21% der Kniegelenke mit verletztem VKB sichtbar (91). Taneja et al. untersuchten die Sichtbarkeit des ALL in der MRT und konnten in 51% das ALL in der koronaren- sowie in der axialen- Ebene darstellen, die 3T MRT zeigte keinen Vorteil in der Darstellbarkeit des ALL zu 1,5T Geräten (87). Kizilgöz et al. konnten das ALL, in der MRT bei 82% der Kniegelenke im gesamten Verlauf darstellen (92). Kosy et al. konnten das ALL in 57% der Fälle im kompletten Verlauf darstellen und bei 94% der Kniegelenke konnte nur eine Teilvisualisierung erreicht werden (19). LaPrade et al. zeigten, dass die MRT das ALL mit einer Sensitivität von 93,8%, bei einer Spezifität von 100%, darstellen konnte (93). Hartigan et al. sowie Porrino et al. konnten das ALL in der MRT zu 100% darstellen (88,94). Doch laut Hartigan et al. war die Unterscheidung zwischen verletztem und intaktem ALL in der MRT bei Verwendung von 1,5T Standardsequenzen nicht möglich (94). Claes et al. konnten das ALL bei 76% der Patientinnen und Patienten mit VKBR darstellen, davon zeigten 78,8% einen Läsion im ALL und über 75% der Läsionen befanden sich im distalen, tibialen Anteil des ALL (18). Es wurden neben Komplet- oder Partial-rissen des ALL auch Konturirregularitäten, sowie ein periligamentäres Ödem als Läsion gewertet (18). Bei nur 1,8% der ALL-Läsionen handelte es sich um eine Segondfraktur, (18). Park et al. konnten in 62,7% der Kniegelenke mit VKB Läsionen ALL Läsionen feststellen, wobei es bei kompletten VKBR häufiger zu ALL-Läsionen kam (41). Eine Läsion des ALL kann in der MRT durch eine totale Unterbrechung, eine Konturirregularität, ein intra- oder peri-ligamentäres Ödem oder einer Kombination dieser Veränderungen diagnostiziert werden (18). Es konnte ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Läsionen im LM und Knochenkontusionen im lateralen Kompartiment bei positivem PST (Grad II u III) und MRT-verifizierten ALL Rupturen gezeigt werden (95,96). Van Dyck et al. fanden zudem eine Assoziation zwischen Knochenkontusionen im postero-medialen Tibiaplateau und ALL Läsionen (95). Dies wird durch den Contrecoup-Verletzungsmechanismus bei VKBR erklärt (58). Van Dyck et al.

konnten bei 46% der Patientinnen und Patienten mit VKBR eine Läsion des ALL in der MRT nachweisen und 17% zeigten eine Segondfraktur, diese Häufigkeit der Verletzung beider Bänder legte einen gemeinsamen Verletzungsmechanismus nahe (95). Helito et al. konnten Läsionen im ALL in 32,6% der Kniegelenke mit VKBR finden (97). Laut Helito et al. und Zens et al., traten ALL-Rupturen am häufigsten, im proximalen Drittel des Ligaments, distal des femoralen Ursprungs auf (97,98). Claes et al., sowie Van Dyck et al. hingegen kamen zu dem Ergebnis, dass bei ALL-Rupturen zu 71% bis 77,8% der distale Bandanteil betroffen ist (18,95). Van Dyck et al. erklärten die vermehrt distalen ALL-Läsionen durch die von Churchill et al. beschriebene Kniekinematik, bei der der Hebelarm des ALL mit zunehmender Distanz vom lateralen Femurkondyl größer wird (36,95).

1.7.5 Rampenläsionen in der MRT

Flüssigkeitssensitive Sequenzen, wie Protonen- oder T2- gewichtete Sequenzen, mit oder ohne Fettsuppression, in axialer Schnittführung sind der derzeit geltende Goldstandard zur Detektion von Rampenläsionen (83). Axiale Bilder zeigen vor allem die medio-laterale Ausdehnung der Läsionen, Sequenzen im Sagittalschnitt sind wichtig um die genaue Lokalisation der Läsion im PHMM, oder in der meniskokapsulären Verbindung zu lokalisieren (99,100). Die sichersten diagnostischen Zeichen einer Rampenläsion des MM in der MRT sind eine meniskokapsuläre Separation des PHMM, Irregularitäten am meniskokapsulären Übergang, oder ein dünner Flüssigkeitsfilm, der die postero-mediale Kapsel vom PHMM trennt (83,101). Weiterführend können eine Meniskusdeplazierung, Meniskusrandrisse, erhöhte Signalintensität um den MM und ein Flüssigkeitsfilm, der tief in das mediale Kollateralband reicht, Zeichen einer Rampenläsion sein (84). Rampenläsionen sind in voller Extension schwer sichtbar, da sich die Kapsel in Extension an das PHMM anlegt (45). In Flexion hingegen wandert die posteriore Gelenkkapsel nach hinten und übt einen Zug auf die meniskokapsuläre Verbindung aus (56). Zusätzlich konnten DePhillipo et al. bei 72% der Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen ein Knochenmarksödem am postero-medialen Tibiaplateau nachweisen, dieses wird durch eine „pivot-shift“, Contrecoupverletzung im medialen Kompartiment ausgelöst, wobei durch die anteriore und tibiale Translation das mediale Tibiaplateau gegen den medialen Femurkondyl drückt (68).

Die Detektionsraten von Rampenläsionen in der MRT sind sehr heterogen und reichen von 48% bis 96% (68,99). Magee et al. korrelierten 3T MRT-Bilder mit der Kniearthroskopie, und konnten in dieser Studie eine Sensitivität von 96% für die Detektion von Rampenläsionen in der MRT erreichen, zudem lagen alle, in der MRT falsch-positiv diagnostizierten Meniskusrisse, in der Peripherie des PHMM (99). Die Spezifität der MRT zur Erkennung von Rampenläsionen ist höher und reicht von 79% bis 99% (101,102). Koo et al. ermittelten mittels Metaanalyse die Sensitivität und Spezifität der MRT in der Diagnostik von Rampenläsionen bei VKBR, die Metaanalyse ergab im Durchschnitt eine mittelgradige Sensitivität von 71% und eine exzellente Spezifität von 94% (100). Bei der Verwendung von 3T MRT-Geräten, mit dem Knie in Neutralstellung bei circa 30° Flexion, und der Befundung durch muskuloskelettal ausgebildete Radiologinnen und Radiologen, konnte die Sensitivität auf 84% erhöht werden (100). Hatayama et al fanden bei 52% aller Patientinnen und Patienten mit VKBR Läsionen im MM, 30% davon hatten Rampenläsionen, die Sensitivität lag im Durchschnitt bei 72% und die Spezifität bei 92%, wobei die Sensitivität bei 3T höher war als bei 1,5T, jedoch war der Unterschied nicht statistisch signifikant (103).

1.7.5.1 Klassifikation von Rampenläsionen nach Greif et al. in der MRT (57)

Typ 1:

Typ 1 Läsionen zeigen sich in der MRT als periphere, vertikale Risse des meniskokapsulären Ligaments, oft begleitet mit Knochenmarksödemen des medialen Femurkondyl und dem posterioren Rand des medialen Tibiaplateaus, welche durch Contrecoup-Verletzungsmechanismen entstehen (57).

Typ 2:

In der MRT zeigt sich Typ 2 Läsionen als Riss an der femoralen Gelenksfläche, in der rot-roten Zone des PHMM (57).

Typ 3A:

Als Typ 3A Läsionen werden lineare, schräg-vertikal, orientierte Risse im MM, die an die tibialen Gelenksfläche des PHMM reichen, bezeichnet (57).

Typ 3B:

Bei Typ 3B Läsionen findet man einen unverletzten MM mit unterbrochenem Verlauf des meniskotibialen Ligaments, zudem zeigt sich häufig ein Knochenmarksödem am postero-medialen Rand des Tibiaplateaus, welches im Rahmen einer Contrecoup-Verletzung entsteht (57).

Typ 4A:

In der MRT manifestiert sich eine Typ 4A Läsion als vertikaler Komplettriss in der peripheren rot-rot Zone des PHMM, die Kontakt zur superioren und inferioren Gelenksfläche des MM hat (57).

Typ 4B:

Typ 4B Läsionen zeigen eine Unterbrechung der meniskokapsulären und meniskotibialen Verbindung, sowie ein Knochenmarksödem, wie bereits bei Typ 3 beschrieben (57).

Typ 5:

Typ 5 Läsionen verlaufen gleich wie Typ 4A Läsionen, anstatt einem Riss zeigen sich hierbei zwei parallele, vertikal orientierte Risse in der Basis des PHMM (57).

1.8 Operative Therapie

Eine operative Versorgung einer VKBR ist indiziert, wenn eine anteriore Instabilität oder Begleitverletzungen, wie Meniskusrisse vorliegen, außerdem wird bei Patientinnen und Patienten mit hohen funktionellen Ansprüchen, wie zum Beispiel bei Sportlerinnen und Sportlern und jungen Patientinnen und Patienten, eine operative Rekonstruktion bevorzugt, da eine persistierende Instabilität zur sekundären Arthrose führt (4). Bei VKB-Rekonstruktionen sollte das Kniegelenk einen möglichst geringen Erguss und eine freie Beweglichkeit aufweisen (4). Wenn zusätzliche Läsionen in den Menisci vorliegen, sollte man möglichst früh eine operative Therapie anstreben, da Meniskusläsionen bei VKBR das Arthroserisiko erhöhen (4). Das Risiko einer Kniegelenksarthrose liegt bei Patientinnen und Patienten mit VKB ohne Meniskusläsion zwischen null und 13%, wenn zusätzlich Meniskusrisse bestehen, erhöht sich das Risiko auf 21 bis 48%, daher ist eine Versorgung von Meniskusläsionen bei VKB-Rekonstruktionen wichtig um das Risiko einer Arthrose zu reduzieren (104,105). Zudem weisen Meniskusrisse ein höheres Heilungspotential auf

wenn das VKB rekonstruiert wird (106–108). Die Heilungsrate der Menisci erhöht sich auch bei mechanischem anfrischen des Risses (107).

1.8.1 Arthroskopie

Die Arthroskopie ist eine endoskopische Untersuchung von Gelenken, mittels Arthroskopie können auch minimal-invasive therapeutische Verfahren durchgeführt werden (26). Die Kniearthroskopie kann in Allgemein- oder Periduralanästhesie erfolgen (34). Zur besseren Übersicht wird der Kniegelenkraum mit Flüssigkeit oder Gas gefüllt (109). Über zwei oder mehrere Zugänge wird das Gelenk inspiziert und versorgt (26). Über das antero-laterale Portal können fast alle Gelenkabschnitte inspiziert werden (34). Der laterale Gelenkbereich, das Femoropatellargelenk, der Recessus suprapatellaris, sowie die Area intercondylaris können über den anterolateralen Zugang lückenlos eingesehen werden, nur das mediale Kompartiment ist nicht komplett einsehbar, da die Rundung der Femurkondylen den Blick auf den MM teilweise versperrt (34). Über den medialen Zugang kann das laterale Gelenkskompartiment gut beurteilt werden (34). Bei vermuteten Pathologien im postero-medialen Gelenksbereich, kann zur Einsicht ein modifiziertes Gillquist-Manöver durchgeführt werden, oder ein zusätzliches postero-mediales Portal angelegt werden (110). Beim modifizierten Gillquist-Manöver wird über das antero-laterale Portal eingegangen und das Arthroskop wird zwischen medialem Aspekt der Area intercondylaris und dem hinteren Kreuzband durchgeschoben (110). Bei postero-lateralen Verletzungen kann ein zusätzliches postero-laterales Portal gesetzt werden (110).

1.8.1.1 VKB-Ersatzplastik

Bei der VKB-Ersatzplastik wird mit autologem Sehnenersatzmaterial das gerissene VKB ersetzt, hierbei ist die Nachstellung des ursprünglichen VKB wichtig, um eine gute biomechanische Funktion zu erlangen (34). Die Einzelbündeltechnik wird heute als Goldstandard angesehen, jedoch kann das VKB auch mittels Doppelbündeltechnik rekonstruiert werden (34). Bei der VKB-Rekonstruktion kann auf verschiedenste Transplantate zurückgegriffen werden, künstliche Bänder, sowie Quadrizepssehngrafts oder Peroneus longus Transplantate werden selten verwendet (4). Die besten Ergebnisse liefern sogenannte „bone-tendon-bone“- (BTB) und Semitendinosussehnen- (STS) Transplantate (4). Bei den BTB-Transplantaten werden das mittlere Patellasehndrittel und die angrenzenden Knochenblöcke entnommen, dadurch ist eine gute knöcherne Einheilung möglich, jedoch kann es zu Pathologien an der Entnahmestelle führen, die am häufigsten auftretenden Hebedefekte sind ein Patellatiefstand und eine Patellafraktur (4).

Bei den zurzeit am häufigsten verwendeten STS-Transplantaten wird oft zusätzlich ein Transplantat aus der Grazilissehne entnommen (111). Daraus ergibt sich ein 3- oder 4-fach- Strang Transplantat, welches weniger Hebedefekte aufweist und den Vorteil eines intakten Streckapparates bietet (4).

Ein schlechtes Outcome bei VKB-Rekonstruktion kann viele Ursachen haben, postoperative Komplikationen wie Verlust der Beweglichkeit, Schmerzen, Infektionen und Arthrose können auftreten (112). Die häufigste Komplikation nach einer VKB-Rekonstruktion ist der Verlust der Beweglichkeit im Kniegelenk, die Ursachen dafür können lange Immobilität und Vernarbungen, sowie eine nicht anatomische Platzierung des Transplantats sein (112). Für eine Instabilität, die innerhalb der ersten sechs postoperativen Monate auftritt, sind meist eine schlechte Transplantatpositionierung, eine schlechte Graft Einheilung, sowie eine verfrühte Belastungsrückkehr verantwortlich, eine Instabilität, die mehr als ein Jahr postoperativ auftritt, kann meist auf erneute Traumen zurückgeführt werden (112). Ein Versagen des Transplantats ist meist auf eine fehlerhafte Rekonstruktion des VKB zurückzuführen, hierbei muss auf eine anatomische Platzierung der Tunnelbohrungen, die richtige Spannung und eine adäquate Fixierung des Transplantats geachtet werden (113). Eine persistierende Rotationsinstabilität erhöht das Risiko für Meniskus- und Knorpelschäden und prädisponiert für arthrotische Veränderungen im Kniegelenk (114). Um postoperativ die Funktionalität des Kniegelenks im Verlauf verfolgen zu können, gibt es Scoringsysteme, wie z.B. den Lysholm Score oder den International Knee Documentation Committee Score (IKDC-Score), diese ermitteln subjektiv Belastbarkeit, Beweglichkeit, Instabilität, Schmerzen und Schwellung im Vergleich zum gesunden Knie (113). In der Literatur findet sich Re-Rupturraten bei VKB-Plastiken, die zwischen 11% und 30% liegen (115–117).

1.8.1.2 Rampenläsionen in der Arthroskopie

Nicht versorgte Rampenläsionen können zu einer dauerhaften Instabilität im Kniegelenk führen, welche durch eine Destabilisierung des PHMM bedingt sind, durch diese Instabilität kommt es zu pathologisch bedingten Fehlbelastungen, welche in vermehrter Knorpelabnutzung und Degeneration resultieren (63,65). Die Stabilität des Kniegelenks ist oft mit einer alleinigen VKB-Rekonstruktion nicht wieder hergestellt, durch eine zusätzliche Versorgung von Rampenläsionen im Zuge von VKB-Rekonstruktionen kann diese jedoch wiederhergestellt werden (60,62,65). Edgar et al. konnten zudem in

Kadaverknien Gelenken zeigen, dass eine operative Versorgung der Rampenläsionen im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion die Belastung auf das VKB-Transplantat um 43% verringert (66).

Rampenläsionen haben trotz der guten Durchblutung in der rot-rot Zone des MM aufgrund der Hypermobilität des gerissenen MM-Anteils eine schlechte Spontanheilungstendenz, da sich der kapsuläre Anteil der Rampenläsion, gemeinsam mit der hinteren Kapselwand, nach posterior und distal faltet und sich somit in Flexion vom PHMM entfernt und sich nur in Extension wieder an das PHMM annähert (118). Darum sollten kapsuläre Läsionen in nicht mehr als 10° Flexion operiert werden (60). Wenn Rampenläsionen nicht zurzeit der VKB-Rekonstruktion versorgt werden, besteht die Gefahr der Erweiterung des Risses, welcher sich bis zum Korbhenkelriss ausdehnen kann (119).

DePhillipo et al. untersuchten mittels Fragebogen den aktuellen Stand der Versorgung von Rampenläsionen (120). In dem Fragebogen gaben 86% der Operateurinnen und Operateure an, das PHMM und den meniskokapsulären Übergang immer bei einer VKB-Rekonstruktion zu begutachten, die Hauptkriterien für eine operative Versorgung waren die Ausdehnung des Risses, ob es sich um einen Partialriss oder um einen Komplettriss handelte und die Stabilität des PHMM bei Manipulation in der Arthroskopie (120).

Die direkte Visualisierung einer Rampenläsion in der Arthroskopie gilt zurzeit als Goldstandard (54,56,72). Arthroskopisch sollte der postero-mediale Bereich des medialen Hinterhorns bei allen Patientinnen und Patienten, die eine akute oder chronische VKB Verletzung erlitten haben, begutachtet werden (51). Durch ein antero-laterales Arthroskopieportal werden bis zu 40% der Rampenläsionen übersehen, und wegen der relativ hohen Prävalenz der Rampenläsion sollte das PHMM mittels transcondylärem Blick oder zusätzlichem postero-medialen Portal routinemäßig überprüft werden (54,56,64,72). Laut Thauat et al. muss direkter Sichtkontakt auf das postero-mediale Kompartiment bestehen, um eine Läsion in diesem Bereich zu diagnostizieren und versorgen zu können (55). Sonnery-Cottet et al. fanden 29 von 50 Rampenläsionen mittels Exploration des postero-medialen Kompartiments über ein antero-laterales Portal, bei 21 Rampenläsionen handelte es sich um sogenannte „hidden lesions“, die erst durch arthroskopische Testung über ein postero-mediales Portal mit Entfernung der oberflächlichen Meniskusschicht mittels Shaver diagnostiziert werden konnten (72). Kim et al. befassten sich ebenfalls mit

der Erkennungsrate von Rampenläsionen in der Arthroskopie, hierfür wurden vier nacheinander folgende Arthroskopieeinstellungen untersucht (121). In der Routineexploration durch ein antero-laterales Portal konnten 38% der vorhandenen Rampenläsionen diagnostiziert werden, 48% der Rampenläsionen konnten mit einem 30° Arthroskop durch einen „trans-notch-view“ eingesehen werden (121). Mit einem 70° Arthroskop im „trans-notch-view“ oder einem postero-medialen Portal konnten alle vorhandenen Rampenläsionen detektiert werden, zudem wurden Rampenläsionen in Kniegelenken mit chronischen VKBR häufiger durch ein antero-laterales Standardportal erkannt als bei Kniegelenken mit akuten VKBR (121).

Liu et al. kamen zu dem Schluss, dass vor allem stabile Rampenläsionen in der Arthroskopie mit einem anterolateralen Portal schwer zu evaluieren waren (54). Am häufigsten wird laut DePhillipo et al. für die Inspektion das modifizierte Gillquist-Manöver durchgeführt und nur 8% der Chirurgeninnen und Chirurgen benutzten ein postero-mediales Portal um das PHMM zu einzusehen (120).

1.8.1.2.1 Zugang über das antero-laterale Portal

Um den Bereich des PHMM über ein antero-laterales Portal einsehen zu können, wird das Arthroskop durch die Area intercondylaris mittels modifiziertem Gillquist-Manöver hindurch geschoben, damit können das PHMM, die Hinterhornwurzel des MM, die postero-medialen Femur- und Tibia-kondylen, die postero-mediale Gelenkscapsel sowie die Insertion des hinteren Kreuzbandes eingesehen werden (110).

1.8.1.2.2 Zugang über das postero-mediale Portal

Ein postero-mediales Portal schafft gute Sicht auf das PHMM und gilt als Goldstandard für die Erkennung von Rampenläsionen (122). Eine Exploration der meniskokapsulären Verbindung mittels zusätzlichem postero-medialen Portal wird von Woods et al. empfohlen, wenn der Verdacht einer Rampenläsion in der MRT besteht, oder wenn der Meniskus bei Sondierung instabil ist (123). Wenn bei postero-medialem Blick keine Läsion sichtbar ist, aber signifikante Instabilität besteht, sollte die obere Meniskusschicht entfernt werden, um versteckte Läsionen, wie Risse im meniskotibialen Ligament, zu finden (123). Ein postero-mediales Portal erlaubt zudem eine Untersuchung auf Instabilität in Knieflexion und das Setzen vertikaler Nähte, die senkrecht zu den tiefen Meniskusfasern stehen und biomechanisch besser angepasst sind (55). Ein Nachteil des postero-medialen Portals ist das Verletzungsrisiko der Nervus Saphenus und der Vena Saphena magna, ein

weiterer Nachteil ist die zweite Inzision die nötig ist, welche die Operationsdauer verlängert (55).

1.8.1.2.3 Versorgungsvarianten

Die anatomische Lokalisation der Rampenläsion macht eine Naht zur technischen Herausforderung, durch die postero-mediale Lokalisation besteht eine erhöhte Verletzungsgefahr des Nervus saphenus und der Vena saphena magna, daher sollten nur Nahttechniken mit direktem Blick auf die posteriore Gelenkscapsel durchgeführt werden (124).

Zur Versorgung von Rampenläsionen können sowohl „all-inside“, „outside-in“ sowie „inside-out“ Nahttechniken verwendet werden (118). Die „inside-out“ Methode ist vielseitig einsetzbar, verlässlich, erlaubt eine vielseitigere Nahtplatzierung und mehr Nähte, jedoch wird für eine „inside-out“ Versorgung ein postero-mediales Portal benötigt (125). „Inside-out“ Meniskusnähte haben eine Erfolgsquote von 85-90%, wenn sie im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion angewandt werden (126). Am häufigsten werden Rampenläsionen laut DePhillipo et al. mit einer „all-inside“ Naht versorgt (74). Die Vorteile der „all-inside“ Naht liegen darin, dass keine zusätzliche Inzision getätigt werden muss, Zeit gespart wird und weniger Risiko besteht Gefäße oder Nerven zu verletzen, jedoch kann es zu Meniskusrissen, Irritationen und Versagen der Nähte kommen (62,126,127). Die Erfolgsquoten sind jedoch nicht schlechter als bei „inside-out“ Nähten (118). Ahn et al versorgten Rampenläsionen mit „all-inside“ Naht und konnten eine Heilungsrate von 82% erzielen (118). Sonnery-Cottet et al. kamen mit einer Versagensquote von 6,8%, bei Versorgung von Rampenläsionen und VKB-Rekonstruktionen zu einem ähnlichen Ergebnis (72). Chen et al. versorgten Rampenläsionen mit einer „all-inside“ Nahtmethode und konnten mittels „second look“ Arthroskopie eine Heilungsrate von 87% zeigen (73).

Laut Bumberger et al., sowie Acosta et al. können unter Berücksichtigung der derzeitigen Literatur keine generellen Empfehlungen zur Behandlung von Rampenläsionen gegeben werden (122,128). Instabile Rampenläsionen, die mit einer Fixation im Rahmen einer VKB-Rekonstruktion versorgt wurden, zeigten eine signifikante Verbesserung bei subjektiven Bewertungen, wie dem IKDC-Score, egal welche Fixierungsmethode durchgeführt wurde (122). Acosta et al. befassten sich nur mit der „all-inside“ Naht, kamen

jedoch auch zu dem Ergebnis, dass eine Naht bei instabilen Rampenläsionen oder bei einer Risslänge von über 2 cm zu besseren klinischen Ergebnissen führte (128). Rampenläsionen unter 2 cm Länge können ohne operative Versorgung heilen, wenn sie stabil sind und eine VKB-Rekonstruktion erfolgte, in diesem Setting ist eine „all-inside“ Vernähung einer reinen Anfrischung der Läsion nicht überlegen (129,130).

1.8.1.3 ALL-Rekonstruktion

Der Nutzen einer ALL-Rekonstruktion wird bis dato in der Wissenschaft heftig debattiert. Ein Vorteil der lateralen Verstärkung war laut Lane et al. die verstärkte Hemmung der Innenrotation durch eine größere Hebelwirkung, da eine laterale Verstärkung weiter vom Rotationspunkt entfernt war als eine intra-artikuläre VKB-Rekonstruktion (131). Eine zusätzliche extra-artikuläre ALL-Rekonstruktion bei VKB-Rekonstruktionen führt zur vermehrten Kniestabilität im PST (132–134). Monaco et al. zeigten, dass VKB-Rekonstruktionen mit lateraler Verstärkung eine signifikante Reduktion der tibialen Innenrotation aufwiesen (135). Colombet et al. konnten hingegen keine Verbesserung der tibialen Translation zeigen und eine verminderte Innenrotation trat nur bei einem Flexionswinkel von 90° auf (136). Dejour et al. und Arilla et al. zeigten, dass bei VKB-Rekonstruktionen mit zusätzlicher lateraler Stabilisierung nach der modifizierte Lemaire Tenodesetechnik weniger anteriore Translation des lateralen Tibiaplateaus und eine signifikant verminderte tibiale Innenrotation bestand (38,137). Inderhaug et al. konnten mit der modifizierte Lemaire Tenodesetechnik und der ALL Rekonstruktion nach MacIntosh bei VKB-Rekonstruktionen wieder die ursprüngliche Kniegelenkskinematik herstellen, welche durch eine alleinige VKB-Rekonstruktion nicht wiederhergestellt werden konnte (138). Engebretsen et al. konnten zudem zeigen, dass eine laterale, extra-artikuläre Tenodese die Kraft, die auf die VKB-Plastik wirkt, um 43% verringerte (139).

Eine ALL-Rekonstruktion verminderte, in einer Studie durchgeführt von Sonnery-Cottet et al., die Rerupturraten von VKB-Rekonstruktionen um mindestens das 2,5-fache und erhöhte die Anzahl der Patientinnen und Patienten, die wieder ihren ursprünglichen sportlichen Level erreichten (140). Zudem fanden Vadal'a et al. bei VKB-Rekonstruktionen mit ALL-Rekonstruktionen eine geringere postoperative Rotationsinstabilität (141). Saraglia et al. erzielten mit einer lateralen Stabilisierung eine statistisch signifikante Verbesserung der funktionalen Stabilität bei sportlicher Belastung bei 97% der Patientinnen und Patienten (133). Jedoch. konnte laut Trojani et al nach einer

ALL-Rekonstruktion keine signifikante Verbesserung im IKDC-Score nachgewiesen werden (132). Sonnery-Cottet et al. konnten durch eine ALL-Rekonstruktion die Versagensquote der Meniskusnaht um mehr als das Zweifache reduzieren und zeigten in ihre Studie den protektiven Effekt, den ALL-Rekonstruktionen auf versorgte Rampenläsionen haben können (69). Ferretti et al., sowie Marcacci et al. demonstrierten in Studien mit einem Mindest- Follow-up von zehn Jahren, dass Patientinnen und Patienten mit extra-artikulären Verstärkungen kein erhöhtes Risiko für Arthrosen im lateralen Kompartiment zeigten (142,143). Potentielle Risikofaktoren für übermäßige degenerative Veränderungen oder Versagen des Transplantats sind laut Feretti et al. eine nicht anatomische VKB- oder ALL-Rekonstruktion, eine verzögerte Rehabilitation oder eine Überspannung der ALL-Plastik in Flexion oder tibialer Außenrotation (142).

1.8.1.3.1 Indikationen für eine ALL-Rekonstruktion

Im Zuge einer VKB-Rekonstruktion sollte eine ALL-Rekonstruktion bei jungen Patientinnen und Patienten und bei Patientinnen und Patienten mit hohem sportlichen Anspruch angedacht werden (144). Zudem ist eine ALL-Rekonstruktion bei Sportarten mit schnellen Richtungswechseln und Rotationsbewegungen indiziert, sowie bei hochgradig positivem PST, welcher für eine persistierende Rotationsinstabilität spricht, ebenso ist bei einer Segondfraktur, bei einer chronischen VKBR und bei VKB-Plastik-Rerupturen eine ALL-Rekonstruktion indiziert (144).

1.8.1.3.2 Rekonstruktionstechniken

Modifizierte Lemaire Tenodesetechnik

Bei der modifizierten Lemaire Tenodesetechnik wird mittels eines gestielten TI-Streifens eine zusätzliche laterale, extra-artikuläre ALL-Rekonstruktion bei VKB-Plastik geschaffen, der Vorteil dabei ist, dass der Insertionspunkt des TI am Tuberculum gerdy belassen werden kann und der proximale Bandanteil nach proximal und posterior unter dem lateralen Kollateralband durchgezogen und am Epikondylus femoralis lateralis fixiert wird, wodurch keine zusätzliche Sehne entnommen werden muss, diese Tenodesetechnik kann mit arthroskopischen Eingriffen am Kniegelenken kombiniert werden (145). Die modifizierte Tenodesetechnik nach Lemaire führt zu einem reduzierten PST und zu einer geringeren VKB-Rerupturrate (146–148).

anatomische ALL-Rekonstruktion mit VKB-Rekonstruktion

Hierbei wird ein STS-Transplantat mit einem Gracilis-Sehnentransplantat verbunden, das STS-Transplantat dient als VKB-Transplantat und wird am lateralen Femurepikondyl aus dem VKB-Bohrkanal ausgeführt und mittels Schraube fixiert (134). Für die ALL-Rekonstruktion wird tibial eine Tunnelierung geschaffen, die anterior des Tuberculum gerdy eingeht und anterior des Fibulaköpfchen herauskommt, durch diesen Tunnel wird retrograd das Gracilis-Sehnentransplantat durchgezogen und nach proximal unter dem TI durchgeführt und am femoralen Bohrkanal mit dem STS-Transplantat verbunden (134). Durch die anatomische Rekonstruktion und Fixation in voller Extension und neutraler Rotationsstellung kann eine übermäßige Transplantatspannung vermieden werden (21).

Marcacci et al beschreiben eine zusätzliche Technik für eine VKB- und ALL-Rekonstruktion, hierbei wird ein STS- und ein Gracilis-Sehnen- Transplantat entnommen, wobei die Insertionsstelle belassen wird und das Transplantat über einen tibialen Tunnel als VKB-Plastik genutzt und am lateralen Femurkondyl ausgeführt und fixiert wird, der verbleibende Anteil des Transplantats wird am Tuberculum Gerdy befestigt und fungiert als ALL (143).

ALL Rekonstruktion nach MacIntosh

Hierbei wird ähnlich wie bei der Tenodesetechnik nach Lemaire ein distaler Streifen des TI unter dem lateralen Kollateralband durchgezogen (149). Jedoch wird dieser nicht im Knochen verschraubt, sondern subperiostal tunneliert und hinter dem Ursprung des lateralen Kollateralbandes um das laterale, intermuskuläre Septum umgeschlagen und vernäht (150).

Ellisons distaler TI-Transfer

Hierbei wird ein Transfer des TI durchgeführt, indem die Insertion am Tuberculum Gerdy abgehoben und unter dem proximalen lateralen Kollateralband durchgezogen wird und anterior des Tuberculum Gerdy refixiert wird (151).

2 Material und Methoden

2.1 Studienkollektiv

Das Studienkollektiv bestand aus Patientinnen und Patienten mit akuten und chronischen VKBR, die sich einer Kniearthroskopie mit VKB-Rekonstruktion unterzogen. Die Arthroskopien wurden im Zeitraum von 1.1.2017 bis 16.03.2020 in der Klinik Diakonissen Schladming durchgeführt. Die dazugehörigen MRT-Untersuchungen des Kniegelenks wurden im Diagnostikum Schladming durchgeführt. Die Patientinnen und Patienten wurden im Rahmen der Untersuchungen über die Verwendung ihrer Daten aufgeklärt und gaben ihr schriftliches Einverständnis. Die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz genehmigte diese Studie.

2.1.1 Grundkollektiv

Einschlusskriterien

Von allen Patientinnen und Patienten mussten ein Operationsbericht der Kniearthroskopie, und eine präoperative MRT-Untersuchung des betroffenen Kniegelenks vorliegen.

- Studienkohorte VKBR mit Rampenläsionen
In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR und Rampenläsionen evaluiert. Risse im PHMM wurden nicht einbezogen, da Rampenläsionen nach der Klassifikation von Greif et al. Läsionen im PHMM sein können.
- Studienkohorte VKBR mit ALL-Läsionen
In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR und ALL Läsionen evaluiert.
- Begleitverletzungen bei alleiniger VKBR
In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR, die weder Rampenläsionen noch ALL Läsionen in der MRT aufwiesen, evaluiert.

Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden jene Patientinnen und Patienten, bei denen keine präoperative MRT-Untersuchung vom Diagnostikum Schladming vorlag. Zudem wurden alle Patientinnen und Patienten ausgeschlossen bei denen in der MRT keine komplette VKBR vorlag oder bei denen in der Arthroskopie keine VKB-Rekonstruktion durchgeführt wurde.

2.2 Parameter

Bei allen Patientinnen und Patienten wurden folgende Parameter erhoben:

- Alter zum Zeitpunkt der MRT
- Geschlecht
- Zeitraum zwischen MRT und Arthroskopie

2.2.1 Erhobene Parameter in der MRT

- Läsionen im VKB
- Läsionen im hinteren Kreuzband
- Läsionen im medialen Kollateralband
- Läsionen im lateralen Kollateralband
- Läsionen im MM Hinterhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im MM Vorderhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im LM Hinterhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im LM Vorderhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im ALL
- Rampenläsionen
- Klassifikation der Rampenläsion nach Greif et al. (57)
 - Typ 1: Risse des meniskokapsulären Bandes (57).
 - Typ 2: Superiore Partialrisse des PHMM mit intakter meniskokapsulärer Verbindung (57).
 - Typ 3A: Vertikale, periphere Risse am inferioren Rand des PHMM mit intaktem meniskotibialen Ligament (57).
 - Typ 3B: Risse des meniskotibialen Ligaments, oder Risse der Insertion am MM (57).

- Typ 4A: Longitudinale, vertikale Komplettrisse der rot-rot Zone des PHMM mit intakten meniskotibialen und meniskokapsulären Befestigungen am gerissenen Meniskusfragment (57).
 - Typ 4B: Komplettrisse der meniskokapsulären und meniskotibialen Verbindung (57).
 - Typ 5: Zwei separat verlaufende Risse in der rot-rot Zone des PHMM (57).
- Subchondrales Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiakondyl bei Rampenläsionen

Da es keine einheitliche Definition für Länge und Lokalisation von Rampenläsionen gibt, wurde für diese Arbeit die Klassifikation nach Greif et al. (57) angewandt. Als Rampenläsionen wurden alle longitudinalen Risse, die sich in die mediolaterale Richtung ausdehnen und sich im PHMM oder der meniskotibialen oder meniskokapsulären Verbindung befinden, definiert, dies inkludierte vertikale, senkrecht zum Tibiaplateau stehende Risse und schräg zum Tibiaplateau verlaufende Risse (57). Die Rampenläsionen Typ 1 und Typ 2 wurden als stabil klassifiziert. Rampenläsionen vom Typ 3A, Typ 3B, Typ 4A, Typ 4B und Typ 5 wurden als instabile Läsionen klassifiziert (57). ALL Läsionen wurden als Diskontinuität einer Bandstruktur an der anterolateralen Seite des Kniegelenks definiert. Eine Segondfraktur wurde als distaler, knöcherner Ausriss des ALL definiert.

2.2.2 Erhobene Parameter in der Arthroskopie

- Läsionen im VKB
- Läsionen im hinteren Kreuzband
- Läsionen im MM Hinterhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im MM Vorderhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Läsionen im LM Hinterhorn
 - traumatisch
 - degenerativ

- Läsionen im LM Vorderhorn
 - traumatisch
 - degenerativ
- Rampenläsionen

Da die Kollateralbänder sowie das ALL in der Arthroskopie nicht direkt visualisiert werden konnten, wurde hierfür die Bandstabilität in der physikalischen Untersuchung als relevanter Parameter für eine zu versorgende Läsion festgelegt. Hierfür wurden folgende Parameter erhoben, ein intraoperativ, positiver PST ≥ 2 wurde als ALL-Läsion gewertet, eine Läsion im medialen Kollateralband wurde mittels medialer Bandinstabilität in der präoperativen Untersuchung definiert und eine Läsion im lateralen Kollateralband wurde mittels lateraler Bandinstabilität in der präoperativen Untersuchung definiert. Die Klassifikation nach Greif et al. (57) wurde in der Arthroskopie nicht angewandt, da diese erst im Lauf der Studie veröffentlicht wurde.

Quellen für die Parameter waren die Datenbanken der Klinik Diakonissen Schladming und des Diagnostikum Schladming. Hierbei wurden die Stammdaten, radiologische Befunde und Arthroskopieberichte erhoben. Die Daten wurden in einer Excel-Tabelle gesammelt und für die statistische Auswertung aufbereitet.

2.3 Technische Parameter der MRT und Befundung

Alle Untersuchungen wurden mittels Siemens Magnetom Skyra 3.0 T-Gerät und Siemens Symphony TIM 1,5 T-Gerät durchgeführt. Es kam bei beiden Geräten ein Knie-Coil zum Einsatz.

Folgende Protokolle wurden angewandt:

Siemens Symphony TIM 1,5 T-Gerät

Protonengewichtete-fettunterdrückte Aufnahmen

- Coronar, Saggital, Transversal
 - Basisauflösung: 320/90, Repetitionszeit (TR): 3410ms, TE: 60ms,
 - Schichtdicke: 3mm,
 - Field of view (FOV): 160mm

Protonen- und T2- gewichtete TSE Aufnahmen

- Sagittal

Basisauflösung: 384/70, TR: 4090ms, TE: 166/13ms, Schichtdicke: 4mm,
FOV: 160mm

T1-gewichtetet SE Aufnahmen

- Coronar

Basisauflösung: 320/90, TR: 631ms, TE: 14ms, Schichtdicke: 3mm,
FOV: 160mm

Siemens Magnetom Skyra 3.0 T-Gerät

Protonengewichtete-fettunterdrückte Aufnahmen

- Coronar

Basisauflösung: 384/307, TR: 3200ms, TE: 25ms, Schichtdicke: 3mm,
FOV: 100mm

- Axial

Basisauflösung: 320/256, TR: 4110ms, TE: 35ms, Schichtdicke: 3mm,
FOV: 100mm

Dixon Sequenz

- Sagittal

Basisauflösung: 384/269, TR: 2700ms, TE: 33ms , Schichtdicke: 3mm,
FOV: 100mm

T1-gewichtetet Aufnahmen

- Coronar

Basisauflösung: 384/307, TR: 582ms, TE: 10ms, Schichtdicke: 3mm,
FOV: 100

Die Befundung der MRT-Bilder wurde am Diagnostikum Schladming durch Fachärztinnen und Fachärzte für Radiologie durchgeführt. Da die Klassifikation nach Greif et al. (57) erst im Laufe der Studie publiziert wurde, wurden alle MRT-Befunde zusätzlich, retrospektiv von einem muskuloskelettalen Radiologen zweibefundet. Der Radiologe hatte bei der Befundung der MRT-Bilder keine Einsicht auf die Arthroskopieberichte.

2.4 Methoden der operativen Versorgung

Alle VKBR wurden arthroskopisch mittels Einzelstrangplastik rekonstruiert. Hierfür wurden die Ansatzsehnen des Musculus semitendinosus und des Musculus gracilis verwendet. In der Arthroskopie wurden nur meniskokapsuläre Separationen als Rampenläsionen gewertet. Meniskuläsionen und Rampenläsionen wurden bei Instabilität in der Testung mittels Arthroskop, oder bei einer Risslänge von über 2 cm mittels „all-inside“ Nähten versorgt. Bei stabilen Meniskus- und Rampenläsionen wurden die Rissränder angefrischt. Degenerative Meniskusschäden, die nicht mit einer Naht versorgt werden konnten, wurden mittels Shaver geglättet oder reseziert. Bei intraoperativ positivem PST ≥ 2 wurde eine laterale extraartikuläre Verstärkung nach der modifizierten Lemaire Tenodesetechnik durchgeführt. Die operative Versorgung der Kniegelenke erfolgte in der Klinik Diakonissen Schladming durch Fachärztinnen und Fachärzte für Unfallchirurgie.

2.5 Statistische Datenanalyse

Die statistische Auswertung erfolgte in IBM SPSS 25.

Es wurden die Ergebnisse der Arthroskopie mit den MRT-Befunden, sowie die unterschiedlichen Pathologien in der MRT untereinander gegenübergestellt. Und mittels Chi-Quadrat Test nach Pearson oder exaktem Test nach Fisher auf eine statistisch signifikante Korrelation ausgewertet. Das Signifikanzniveau wurde mit $p \leq 0,05$ festgelegt. Die statistisch signifikanten Ergebnisse sind in den Tabellen fett markiert. In der MRT wurden nur Komplettrisse des medialen und lateralen Seitenband als relevante Läsionen gewertet, Teileinrisse wurden nicht als pathologisch gewertet, da die Befunde mit der klinischen Untersuchung verglichen wurden. Die Rampenläsionen wurden nach der Klassifikation nach Greif et al. (57) eingeteilt.

3 Ergebnisse- Resultate

Schlussendlich konnten 163 Patientinnen und Patienten in die Studie eingeschlossen werden.

3.1 Alter und Geschlechterverteilung

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der MRT-Untersuchung betrug 34,55 Jahre, bei einem Minimum von neun Jahren und einem Maximum von 62 Jahren. In der Studie betrug der Frauenanteil 47,85% und der Männeranteil 52,15%.

Bei ausschließlicher Berücksichtigung der Rampenläsionen zeigte sich ein Durchschnittsalter von 34,35 Jahren, bei einem Minimum von 14 Jahren und einem Maximum von 62 Jahren. Bei den Rampenläsionen betrug der Männeranteil 57,69% und der Frauenanteil 42,31%.

Bei ausschließlicher Berücksichtigung der ALL-Läsionen zeigte sich ein Durchschnittsalter von 38,94 Jahren, bei einem Minimum von 16 Jahren und einem Maximum von 61 Jahren. Bei den ALL-Läsionen betrug der Männeranteil 61,54% und der Frauenanteil 38,64%.

3.2 Zeitintervall MRT/ Arthroskopie

Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der arthroskopischen Versorgung der VKBR lag bei 49,56 Tagen. Das kürzeste Zeitintervall lag bei null Tagen und das längste Zeitintervall betrug 837 Tage.

Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der Versorgung der VKBR, bei Kniegelenken mit ALL-Läsionen, lag bei 27,42 Tagen. Das kürzeste Zeitintervall lag bei null Tagen und das längste Zeitintervall betrug 216 Tage.

Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der Versorgung der VKBR, bei Kniegelenken mit Rampenläsionen, lag bei 47,58 Tagen. Das kürzeste Zeitintervall lag bei null Tagen und das längste Zeitintervall betrug 496 Tage.

3.3 Ergebnisse der MRT

In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Gesamtpopulation dargestellt und in Tabelle 3 werden die Ergebnisse der Meniskusläsionen dargestellt.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl
hinteres Kreuzband	2	1,22%
mediales Kollateralband	39	23,93%
laterales Kollateralband	11	6,75%
Vorderhorn MM	8	4,91%
Hinterhorn MM	57	34,97%
Vorderhorn LM	9	5,52%
Hinterhorn LM	43	26,38%
Rampenläsionen	52	31,90%
ALL-Läsionen	48	29,45%
Segondfraktur	4	2,45%)

Tabelle 2- Ergebnisse der Gesamtpopulation in der MRT

Bei beiden Patientinnen und Patienten mit einer Ruptur des hinteren Kreuzbandes konnten Rampenläsionen und ALL-Läsionen diagnostiziert werden. Abbildung 1 zeigt einen Beispielbefund für eine ALL-Läsionen. Abbildung 2 zeigt einen Beispielbefund für eine Segondfraktur.

Meniskusriss	Degenerativ/ traumatisch	Patient/innen Anzahl	Prozent von gesamten Meniskusrissen der anatomischen Region
Vorderhorn MM	traumatisch	5	62,5%
	degenerativ	3	37,5%
Hinterhorn MM	traumatisch	49	85,96%
	degenerativ	8	14,04%
Vorderhorn LM	traumatisch	7	77,78%
	degenerativ	2	22,22%
Hinterhorn LM	traumatisch	39	90,70%
	degenerativ	4	9,30%

Tabelle 3- Meniskusrisse der Gesamtpopulation in der MRT



Abbildung 1: Beispielbefund ALL-Läsion: In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigte sich eine ALL-Läsion durch eine hyperintense, totale oder partielle Unterbrechung des Ligaments mit einhergehender Konturirregularität und intra- oder peri-ligamentärem Ödem (Pfeil). Bildquelle: Diagnostikum Schladming

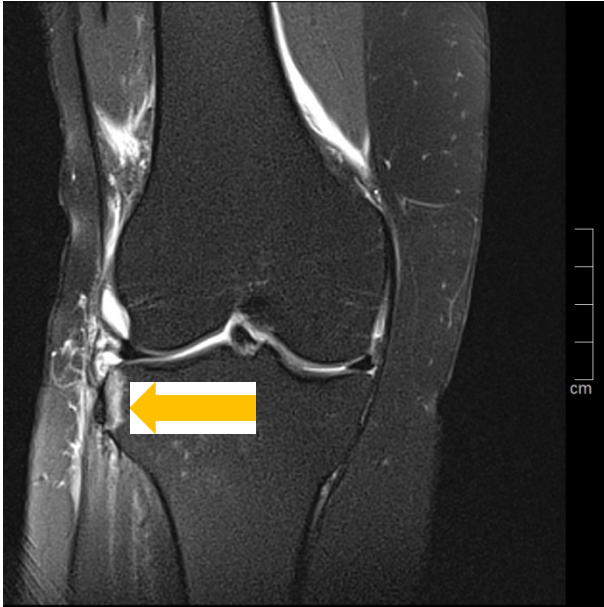


Abbildung 2: Beispielbefund Segondfraktur: In der T-2-gewichteten Sequenz zeigte sich eine Segondfraktur durch einen knöchernen Ausriss des ALL mit hyperintensem Ödem (Pfeil). Bildquelle: Diagnostikum Schladming

Begleitverletzungen bei VKBR

In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR, die weder Ramplänen noch ALL Läsionen in der MRT aufwiesen, evaluiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rupturen der jeweiligen anatomischen Region
laterales Kollateralband	1	9,09%
mediales Kollateralband	14	35,9%
Hinterhorn MM	13	22,81%
Vorderhorn MM	3	37,5%
Hinterhorn LM	11	25,58%
Vorderhorn LM	2	22,22%

Tabelle 4- Ergebnisse der Studienpopulation mit VKBR in der MRT

Begleitverletzungen bei Kniegelenken mit ALL-Läsionen

In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR und ALL Läsionen evaluiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rupturen der jeweiligen anatomischen Region	p-Wert
laterales Kollateralband	10	90,91%	<0,001
mediales Kollateralband	21	53,85%	0,001
Hinterhorn MM	22	38,60%	0,090
Vorderhorn MM	4	50%	0,268
Hinterhorn LM	27	62,79%	<0,001
Vorderhorn LM	4	44,44%	0,468
Rampenläsionen	25	48,08%	0,002

Tabelle 5- Ergebnisse der Studienpopulation mit ALL-Läsion in der MRT

Begleitverletzungen bei Kniegelenken mit Rampenläsionen

In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR und Rampenläsionen evaluiert. Risse im PHMM wurden nicht einbezogen, da Rampenläsionen nach der Klassifikation von Greif et al. (57) Läsionen im PHMM sein können. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rupturen der jeweiligen anatomischen Region	p-Wert
laterales Kollateralband	8	72,72%	0,005
mediales Kollateralband	16	41,03%	0,161
Vorderhorn MM	1	12,5%	0,438
Hinterhorn LM	21	48,48%	0,013
Vorderhorn LM	3	33,33%	1,000
ALL-Läsion	25	48,08%	0,002

Tabelle 6- Ergebnisse der Studienpopulation mit Rampenläsion in der MRT

3.3.1 Lage der Rampenläsionen in der MRT (Klassifiziert nach Greif et al.) (57)

Sechs Rampenläsionen (11,54%) wurden als stabile Läsionen eingestuft. Bei fünf Rissen (9,62%) handelte es sich um Läsionen im meniskokapsulären Band, welche Typ 1 Läsionen entsprachen. Ein Riss (1,92%) wurde als superiorer Teilriss des PHMM klassifiziert, was einer Typ 2 Läsion entsprach.

46 Läsionen (86,53%) wurden als instabile Läsionen eingestuft. Sechs Patientinnen und Patienten (11,54%) zeigten Typ 3A Läsionen, welche als vertikaler, peripherer Riss am inferioren Rand des PHMM bei intaktem meniskotibialen Ligament definiert waren. Bei 11 Patientinnen und Patienten (21,15%) wurden Risse des meniskotibialen Ligaments, oder Risse der Insertion am MM diagnostiziert, dies entsprach Typ 3B Läsionen. In 14 Patientinnen und Patienten (26,92%) wurden komplette, longitudinale, vertikale Risse der rot-rot Zone des PHMM mit intakten meniskotibialen und meniskokapsulären Ligamenten am gerissenen Meniskusfragment diagnostiziert, was Typ 4A Läsionen entsprach. 12 Patientinnen und Patienten (23,08%) zeigten Komplettrisse der meniskokapsulären und meniskotibialen Verbindung bei intaktem PHMM, diese Risskonfiguration entsprach Typ 4B Läsionen. Bei drei Patientinnen und Patienten (5,77%) wurden Typ 5 Läsionen diagnostiziert, welche sich durch zwei separate Risse in der rot-rot Zone des PHMM bei intakten meniskotibialen und meniskokapsulären Ligamenten definieren.

Bei 25 Patientinnen und Patienten wurde eine ALL-Läsion bei Rampenläsionen diagnostiziert. Es zeigten sich bei zwei Typ 1 Rampenläsionen (8%), keiner Typ 2 Rampenläsion, vier Typ 3A Rampenläsionen (16%), drei Typ 3B Rampenläsionen (12%), fünf Typ 4A Rampenläsionen (20%), 11 Typ 4B Rampenläsionen (44%) und keiner Typ 5 Rampenläsion begleitende Läsionen im ALL. Abbildungen 3-9 zeigen Beispielbefunde für die einzelnen Rampenläsionstypen nach Greif et al.

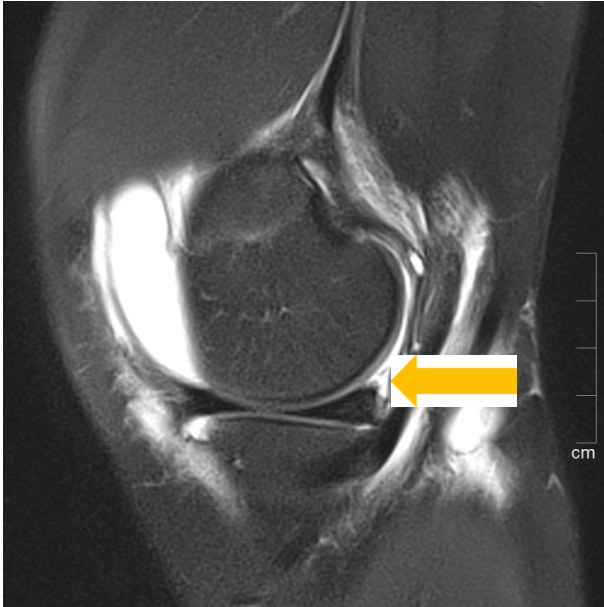


Abbildung 3: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 1 nach Greif et al. (57): In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein peripherer, vertikaler Riss des meniskokapsulären Ligaments (Pfeil). Bildquelle: Diagnostikum Schladming



Abbildung 4: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 2 nach Greif et al. (57): In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein superiorer Partialriss des PHMM (Pfeil), wobei die meniskokapsuläre Verbindung intakt war. Bildquelle: Diagnostikum Schladming

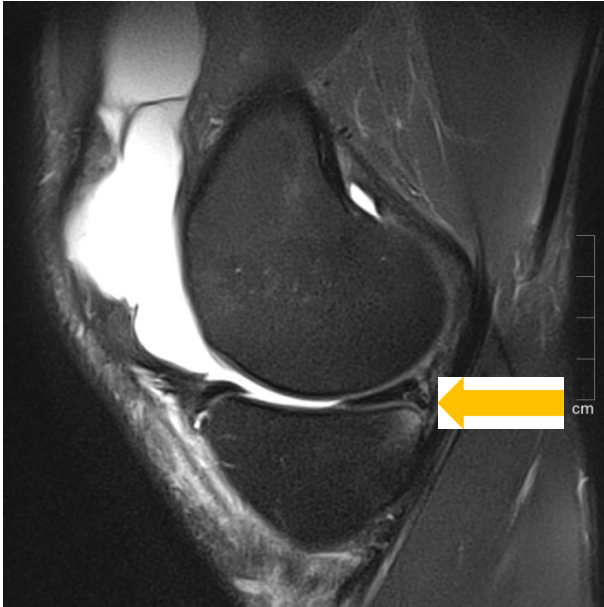


Abbildung 5: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 3A nach Greif et al. (57): In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein linearer, schräg-vertikal, orientierter, peripherer Riss am inferioren Rand des PHMM (Pfeil). Das meniskotibiale Ligament war intakt, hatte jedoch keinen Kontakt zum PHMM. Bildquelle: Diagnostikum Schladming



Abbildung 6: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 3B nach Greif et al. (57): In fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein Riss des meniskotibialen Ligaments selbst, bzw. ein Riss dessen Insertion am MM (Pfeil), jedoch bestanden keine Läsionen im MM. Bildquelle: Diagnostikum Schladming



Abbildung 7: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 4A nach Greif et al. (57): In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein kompletter, longitudinaler, vertikaler Riss der peripheren rot-rot Zone des PHMM (Pfeil) mit intakten meniskotibialen und meniskokapsulären Befestigungen am gerissenen Meniskusfragment.

Bildquelle: Diagnostikum Schladming

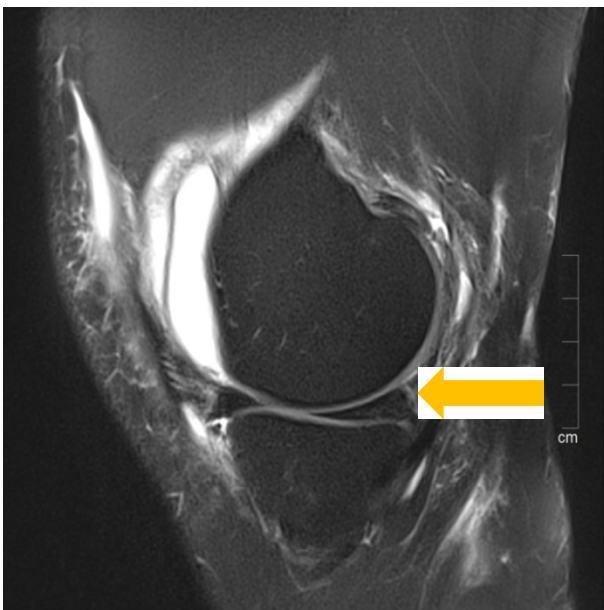


Abbildung 8: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 4B nach Greif et al. (57): In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigt sich ein Komplettriss der meniskokapsulären und meniskotibialen Verbindung (Pfeil), im MM selbst war keine Läsion vorhanden. Bildquelle: Diagnostikum Schladming

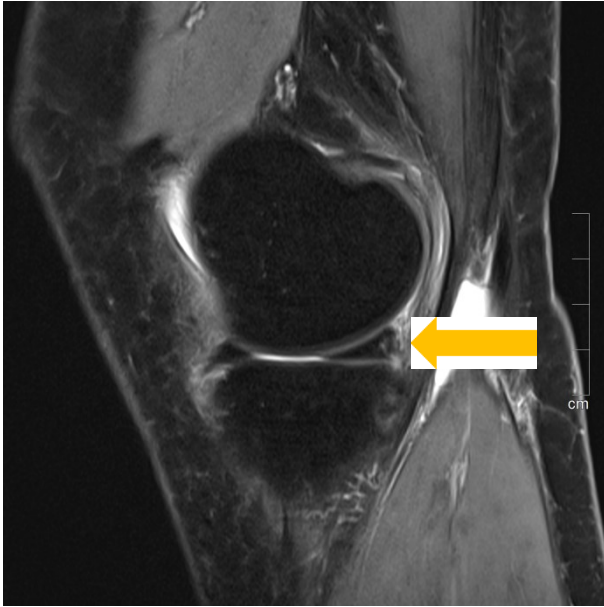


Abbildung 9: Beispielbefund einer Rampenläsion Typ 5 nach Greif et al (57).: In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigen sich zwei separate Risse in der rot-rot Zone des PHMM (Pfeil), das meniskotibiale und das meniskokapsuläre Ligament waren intakt. Bildquelle: Diagnostikum Schladming

Rampenläsionen waren bei 34 Patientinnen und Patienten (65,38%) mit einem subchondralen Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiaplateau assoziiert. Bei den als instabil klassifizierten Rampenläsionen konnte eine hohe Korrelation, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,89 gezeigt werden. Detaillierte Ergebnisse sind in Tabelle 7 ersichtlich. Abbildung 10 zeigt einen Beispielbefund für ein Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiakondyl.

Rampenläsion-Typ	Stabilität	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rampenläsionen	Knochenmarks-ödem im postero-medialen Tibiaplateau (Anzahl)	Knochenmarks-ödem im postero-medialen Tibiaplateau (%)
1	stabil	5	9,62%	2	33,33%
2	stabil	1	1,92%	0	0%
3A	instabil	6	11,54%	3	50%
3B	instabil	11	21,15%	8	72,72%
4A	instabil	14	26,92%	7	50%
4B	instabil	12	23,08%	11	91,67%
5	instabil	3	5,77%	3	100%

Tabelle 7- Ergebnisse Rampenläsion- Typen klassifiziert nach Greif et al. (57)

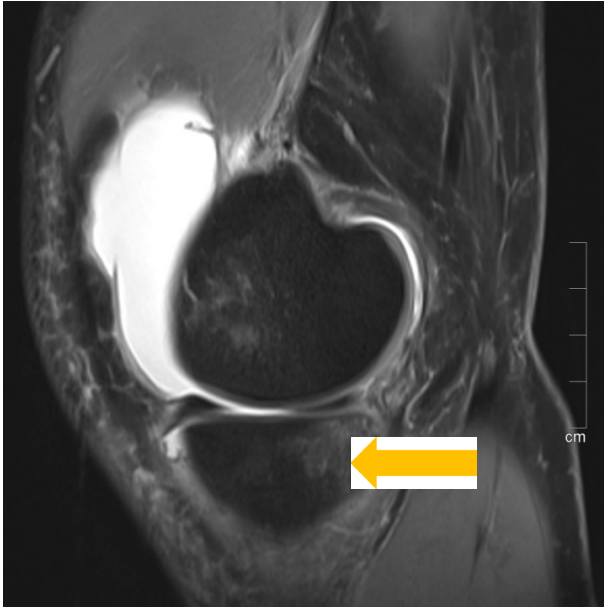


Abbildung 10: Beispielbefund eines Knochenmarksödems im postero-medialen Tibiakondyl: In der fettunterdrückten, Protonen-gewichteten Sequenz zeigte sich eine hyperintense Aufhellung im Knochen im Bereich des postero-medialen Tibiakondyl (Pfeil). Bildquelle: Diagnostikum Schladming

3.4 Ergebnisse der Arthroskopie

In Tabelle 8 werden die Ergebnisse in der Gesamtpopulation, in Tabelle 9 die Ergebnisse in der Population mit Meniskusläsionen dargestellt.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl
hinteren Kreuzbandes	2	1,22%
medialen Kollateralbandes	31	19,02%
lateralen Kollateralbandes	3	1,84%
Vorderhorn MM	7	4,29%
Hinterhorn MM	52	31,90%
Vorderhorn LM	7	4,29%
Hinterhorn LM	33	20,25%
Rampenläsionen	9	5,52%
ALL-Läsionen	18	11,04%
Segondfraktur	4	2,45%

Tabelle 8- Ergebnisse der Gesamtpopulation in der Arthroskopie

Der intraoperative PST zeigte bei 18 Patientinnen und Patienten eine vermehrte Beweglichkeit (\geq Grad 2) und somit wurde eine ALL Rekonstruktion durchgeführt. Dies entsprach 34,62% der Patientinnen und Patienten, die in der MRT eine ALL-Läsion aufwiesen. Bei vier Patientinnen und Patienten (2,45%) mit positivem PST wurde in der MRT keine Läsion des ALL gefunden.

Meniskusriss	Degenerativ/ traumatisch	Patient/innen Anzahl	Prozent von gesamten Meniskusrissen der anatomischen Region
Vorderhorn MM	traumatisch	4	57,14%
	degenerativ	3	42,86%
Hinterhorn MM	traumatisch	45	86,54%
	degenerativ	7	13,46%
Vorderhorn LM	traumatisch	7	100%
	degenerativ	0	0%
Hinterhorn LM	traumatisch	28	84,84%
	degenerativ	5	15,15%

Tabelle 9- Meniskusrisse in der Gesamtpopulation in der Arthroskopie

Begleitverletzungen bei VKBR

In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR, die weder Rampenläsionen noch ALL Läsionen in der Arthroskopie aufwiesen, evaluiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 10 dargestellt.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rupturen der jeweiligen anatomischen Region
laterales Kollateralband	2	66,67%
mediales Kollateralband	29	93,55%
Hinterhorn MM	44	84,62%
Vorderhorn MM	4	57,14%
Hinterhorn LM	26	78,79%
Vorderhorn LM	6	85,71%

Tabelle 10- Ergebnisse Studienpopulation VKBR in der Arthroskopie

Begleitverletzungen bei ALL-Läsionen

In dieser Kohorte wurden nur Patientinnen und Patienten mit VKBR und ALL-Läsionen evaluiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt.

Ruptur /anatomische Region	Patient/innen Anzahl	Prozent von Gesamtanzahl der Rupturen der jeweiligen anatomischen Region
laterales Kollateralband	1	33,33%
mediales Kollateralband	2	6,45%
Hinterhorn MM	4	7,69%
Vorderhorn MM	0	0%
Hinterhorn LM	4	62,79%
Vorderhorn LM	4	12,12%
Rampenläsionen	0	0%

Tabelle 11- Ergebnisse Studienpopulation ALL-Läsion in der Arthroskopie

Begleitverletzungen bei Rampenläsionen

Bei Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen wurden in der Arthroskopie nur zwei Risse (22,22%) im Hinterhorn des LM gefunden. In dieser Studienkohorte wurden keine begleitenden Risse der Kollateralbänder und keine Risse der Menisci gefunden.

4 Diskussion

4.1 Diagnostische Wertigkeit der MRT in der Erkennung von Rampenläsionen

Wie in der Literatur beschrieben, konnten die Rampenläsionen am besten in Protonengewichteten Sequenzen mit oder ohne Fettsuppression in der MRT diagnostiziert werden (83). Die axiale Sequenz wurde für die Beurteilung der medio-lateralen Ausdehnung der Läsionen verwendet und die sagittale Sequenz wurde zur Lokalisation und Klassifikation der Läsionen verwendet.

In der MRT wurden in der Studienpopulation 52 Rampenläsionen diagnostiziert. Das entspricht einer Prävalenz von Rampenläsionen bei Patientinnen und Patienten mit VKBR von 31,90%, dies stimmt auch mit der derzeit vorliegenden Literatur überein. In der Literatur finden sich Prävalenzraten von 9-42% (56,70). In der Arthroskopie wurden neun Rampenläsionen diagnostiziert und versorgt, dies entspricht einer Prävalenzrate von 5,52%. Die stark variierenden Prävalenzraten könnten durch die unterschiedliche Definition von Rampenläsionen erklärt werden. Da in dieser Studie in der Arthroskopie nur menixokapsuläre Separationen als Rampenläsionen gewertet wurden, könnte das die niedrige Prävalenz von Rampenläsionen in der Arthroskopie erklären. Da in der MRT die

Klassifikation nach Greif et al. (57) angewendet wurde, divergieren die Prävalenzraten sehr und waren aufgrund der unterschiedlichen Definition nicht direkt miteinander vergleichbar.

Bei den Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen konnte in der MRT gezeigt werden, dass diese in 72,72% mit lateralen Kollateralbandrissen vergesellschaftet waren. Bei den Patientinnen und Patienten ohne Rampenläsionen zeigten nur 9,09% einen Riss des lateralen Kollateralbandes. Im exakten Test nach Fisher zeigte sich eine hoch signifikante Korrelation mit einem p-Wert von 0,005. Ein Flexions-Varus-Innenrotationstrauma könnte für die Risse im lateralen Kollateralband verantwortlich sein. Die einhergehenden Rampenläsionen könnten durch den von Kaplan et al. beschriebenen Contrecoup Verletzungsmechanismus, bei dem es durch kompensatorische Varusstellung des Femurkondyls und Schermechanismen zu Kontusionen und Verletzungen im PHMM kommt, erklärt werden (58).

Rupturen des medialen Kollateralbandes waren bei 41,03% der Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen vergesellschaftet. In der Studienkohorte ohne Rampenläsionen zeigte sich mit 35,9% eine ähnliche Prävalenz von Rupturen im medialen Kollateralband. In der aktuellen Literatur wurden noch keine Assoziation zwischen Rupturen des medialen Kollateralbandes und Rampenläsionen, bei VKBR beschrieben.

Bei Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen traten bei 48,48% Läsionen im Hinterhorn des LM und bei 33,33% Läsionen im Vorderhorn des LM auf. Bei der Studienkohorte ohne Rampenläsionen zeigten sich bei 25,58% der Patientinnen und Patienten Risse im Hinterhorn des LM und bei 22,22% der Patientinnen und Patienten zeigten sich Risse im Vorderhorn des LM. In der Studie zeigten die Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen eine höhere Prävalenz von gleichzeitigen Rissen des LM. Im Chi-Quadrat Test nach Pearson zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen Rampenläsionen und Risse im Hinterhorn des LM mit einem p-Wert von 0,013. Zwischen Rampenläsionen und Rissen im Vorderhorn des LM konnte kein statistisch Signifikanter Zusammenhang gezeigt werden. Diese Ergebnisse decken sich mit der derzeit vorliegenden Literatur. Balazs et al. konnten bei 44,52% der Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen Läsionen LM zeigen (70). DePhillipo et al. konnten bei 78% der Patientinnen und Patienten mit Rampenläsionen Risse im LM zeigen (68).

Bei den 52 Rampenläsionen wurden gemäß der Klassifizierung nach Greif et al. (57), 11,54% als stabile Läsionen (Typ1, Typ2) und 88,46% als instabile Läsionen (Typ3-Typ5) eingestuft. Balazs et al. klassifizierten in ihrer Studie 53% der Rampenläsionen als instabil (70). In der vorliegenden Studie konnte bei 34 Patientinnen und Patienten (65,38%) ein begleitendes subchondrales Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiaplateau, bei Rampenläsionen diagnostiziert werden. Die Korrelation war bei den als instabil klassifizierten Rampenläsionen mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,89 sehr stark. In der vorliegenden Studie konnte ein Zusammenhang zwischen Typ der Rampenläsion nach der Klassifikation nach Greif et al (57) und der Häufigkeit von einem begleitenden Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiaplateau gezeigt werden, da 33,33% der Typ 1 Läsionen, 0,0% der Typ 2 Läsionen, 50% der Typ 3A Läsionen, 72,72% der Typ 3B Läsionen, 50% der Typ 4A Läsionen, 91,67% der Typ 4B Läsionen und 100% der Typ 5 Läsionen ein begleitendes Knochenmarksödem aufwiesen. Auch Balazs et al und DePhillipo et al. konnten in ihren Studien eine Assoziation von Knochenmarksödemen des postero-medialen Tibiaplateaus mit Rampenläsionen zeigen, Balazs et al. konnten bei 42% der Patientinnen und Patienten und DePhillipo et al. bei 72% der Patientinnen und Patienten, ein Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiaplateau nachweisen (68,70). In Übereinstimmung mit unserer Studie, zeigten auch die Studien von Balazs et al und DePhillipo et al. bei instabilen Rampenläsionen eine erhöhte Prävalenz für ein begleitendes subchondrales Knochenmarksödem im postero-medialen Tibiaplateau (68,70).

Bei 25 Patientinnen und Patienten (48,08%), die eine Rampenläsion aufwiesen, konnte auch eine ALL Läsion in der MRT diagnostiziert werden. Im Chi-Quadrat Test nach Pearson konnte eine hoch signifikante Korrelation zwischen Rampenläsionen und ALL Läsionen, mit einem p-Wert von 0,002 gezeigt werden. In der Literatur wurde bis jetzt noch keine signifikante Assoziation dieser Läsionen beschrieben. Jedoch beschrieben Sonnery-Cottet et al., dass eine ALL-Rekonstruktionen bei VKB-Rekonstruktionen einen protektiven Effekt auf versorgte Rampenläsionen hatte (69).

4.1.1 Klassifikation der Rampenläsionen nach Greif et al. (57)

Greif et al. (57) führten in ihrer Studie eine Klassifikation der Rampenläsionen durch, gingen jedoch nicht auf die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Läsionen ein. Aufgrund der genauen Definition der einzelnen Läsionen durch Greif et al. (57) konnten alle Rampenläsionen in der vorliegenden Studie typisiert werden.

4.2 diagnostische Wertigkeit der MRT in der Erkennung von Läsionen im ALL

Wie in der Literatur beschrieben, zeigte sich das ALL in Protonen-gewichteten Sequenzen mit Fettunterdrückung am besten darstellbar (86,92).

In der MRT wurden in der Studienpopulation 48 ALL-Läsionen (29,45%) und vier Segondfrakturen (2,45%) diagnostiziert. Dies entsprach einer Gesamtprävalenz von ALL-Läsionen bei Patientinnen und Patienten mit VKBR von 31,90%. In der Arthroskopie wurden 18 ALL-Läsionen diagnostiziert und versorgt, dies entsprach einer Prävalenzrate von 11,04% in der gesamten Studienpopulation. In der Literatur finden sich für ALL-Läsionen bei VKBR sehr variable Prävalenzraten, die von 10,71% bis 78,8% reichen (18,152). Diese variablen Prävalenzraten können durch die unterschiedliche Definition von ALL-Läsionen erklärt werden. Claes et al konnten bei 78,8% der Patientinnen und Patienten mit VKBR ALL-Läsionen in der MRT nachweisen, jedoch wurden, neben Komplet- oder Partial-rissen des ALL, auch Konturirregularitäten, sowie ein periligamentäres Ödem als Läsion gewertet (18). Kosy et al. konnten bei 10,71% der Patientinnen und Patienten mit VKBR ALL-Läsionen in der MRT nachweisen. In ihrer Studie wurden jedoch nur Partialrisse, Komplettrisse und knöcherne Ausrisse des ALL als ALL-Läsion gewertet (152). Die Prävalenzraten für Segondfrakturen bei VKBR reichen in der Literatur von 1,8% bis 17% (18,95). Somit decken sich die Daten unserer Studie mit der derzeit vorliegenden Literatur.

In der vorliegenden Studie konnten alle zwei in der Arthroskopie bestätigten Risse des hinteren Kreuzbandes in der MRT diagnostiziert werden. Auffallend war, dass beide Risse des hinteren Kreuzbandes mit ALL-Läsionen einhergingen, jedoch ist diese Studienpopulation zu klein um epidemiologische Zusammenhänge darstellen zu können. Derzeit gibt es noch keine Studien, welche die Prävalenz von ALL-Läsionen bei VKBR in Kombination mit hinteren Kreuzbandrupturen evaluiert haben. Jedoch könnte dies durch ein schweres Trauma erklärt werden, da das hintere Kreuzband das kräftigste Band des Kniegelenks ist und nur bei schweren Traumata beide Kreuzbänder reißen (23).

In der Studienkohorte waren 90,91% der Läsionen im lateralen Kollateralband mit ALL-Läsionen vergesellschaftet. Im exakten Test nach Fisher konnte eine hoch signifikante Korrelation, zwischen Rissen im lateralen Kollateralband und ALL Läsionen, mit einem p-

Wert $<0,001$ gezeigt werden. Van Dyck et al. konnten in ihrer Studie auch eine signifikante Assoziation von Läsionen im lateralen Kollateralband bei VKBR und ALL-Läsionen finden (95). Laut Literatur werden diese Begleitverletzungen der antero-lateralen Gelenkkapsel bei VKBR meist durch ein Flexions-Varus-Innenrotationstrauma ausgelöst, da sich beide Bänder an der lateralen Seite des Kniegelenks befinden und einen ähnlichen anatomischen Verlauf zeigen (4).

In unserer Studie wurden 98% der Rampenläsionen, die mit ALL-Läsionen einhergingen, nach Greif et al. (57) als instabil klassifiziert. Am häufigsten zeigten sich mit 44% Typ 4B Rampenläsionen, die mit ALL-Läsionen vergesellschaftet waren. In der derzeit vorliegenden Literatur finden sich noch keine Studien, die sich mit dieser Fragestellung befassten, jedoch konnten Van Dyck et al. eine Assoziation zwischen Knochenkontusionen im postero-medialen Tibiaplateau und ALL Läsionen bei VKBR zeigen (95). Eine mögliche Erklärung für diese Assoziation wäre der von Kaplan et al. beschriebene Contrecoup-Verletzungsmechanismus bei VKBR (58). Sonnery-Cottet et al. konnten zudem zeigen, dass ALL-Rekonstruktionen einen protektiven Effekt für versorgte Rampenläsionen aufweisen (69).

Bei Patientinnen und Patienten mit ALL-Läsionen traten bei 62,79%, Risse im Hinterhorn des LM und bei 44,44% Risse im Vorderhorn des LM auf. In der Studienkohorte ohne ALL-Läsionen zeigten sich bei 25,58% Risse im Hinterhorn des LM und bei 22,22% zeigten sich Risse im Vorderhorn des LM. In der Studie zeigten die Patientinnen und Patienten mit ALL-Läsionen bei VKBR in der MRT eine höhere Prävalenz von gleichzeitigen Rissen des LM. Im Chi-Quadrat Test nach Pearson zeigten nur Risse im Hinterhorn des LM mit ALL-Läsionen eine hoch signifikante Korrelation, mit einem p-Wert von $<0,001$. Diese Ergebnisse decken sich mit der derzeit vorliegenden Literatur. Lee et al., Song et al. sowie Van Dyck et al. konnten einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Läsionen im LM und Knochenkontusionen im lateralen Kompartiment, bei hochgradig positivem (Grad II u III) PST und MRT verifizierten ALL Rupturen zeigen (95,96,153). Laut Vincent et al. könnte die Befestigung des ALL am LM für die Assoziation von Rissen im LM, bei VKBR verantwortlich sein, da nach einem tibialen Ausriss des ALL eine vermehrte anteriore tibiale Translation möglich ist und, aufgrund der verbleibenden femoralen Befestigung des ALL, Spannung auf den LM ausgeübt wird und diese Kraft zum Reißen des LM beitragen kann (15).

4.3 Alter

Das Durchschnittsalter der Studienpopulation zum Zeitpunkt der MRT-Untersuchung betrug 34,55 Jahre, bei ausschließlicher Berücksichtigung der Studienpopulation mit Rampenläsionen sank das Durchschnittsalter leicht auf 34,35 Jahre. In der gesamten Studienpopulation betrug der Männeranteil 52,15%, bei ausschließlicher Berücksichtigung der Studienpopulation mit Rampenläsionen stieg der Männeranteil auf 57,69%. Laut der derzeit vorliegenden Literatur treten Rampenläsionen bei VKBR am häufigsten bei jungen Männern unter 30 Jahren auf (54,68,69). Damit war das Durchschnittsalter in der Studienpopulation mit Rampenläsionen höher als in der Literatur beschriebenen. Dies könnte durch die kleine Studienpopulation von 52 Rampenläsionen bedingt sein. Der höhere Anteil an männlichen Probanden in der Kohorte mit Rampenläsionen stimmt mit der zurzeit bestehenden Literatur überein.

Bei ausschließlicher Berücksichtigung der ALL-Läsionen zeigte sich ein Durchschnittsalter von 38,94 Jahren, bei einem Männeranteil 61,54%. Epidemiologische Daten über Alters- und Geschlechts-spezifische Häufung von ALL-Läsionen bei VKBR sind derzeit noch nicht vorhanden.

4.4 Zeitintervall zwischen MRT und Arthroskopie

Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der arthroskopischen Versorgung des VKB lag bei 49,56 Tagen. Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der Versorgung des VKB bei Kniegelenken mit Rampenläsionen lag bei 47,58 Tagen. In der Studie zeigte sich ein kürzeres MRT- zu Arthroskopie- Intervall bei Kniegelenken mit Rampenläsionen als bei Kniegelenken mit reiner VKBR. Laut der derzeit vorliegenden Literatur steigt die Prävalenz von Rampenläsionen bei Patientinnen und Patienten mit chronischen VKBR (54,68,69). Dafür verantwortlich könnten die kleine Studienpopulation, sowie der Unfallmechanismus sein, da es sich bei den meisten VKBR um Schiunfälle handelte und diese akut versorgt wurden.

Die durchschnittliche Dauer zwischen MRT-Untersuchung und der Versorgung der VKBR bei Kniegelenken mit ALL-Läsionen lag bei 27,42 Tagen. Somit zeigte sich hier ein deutlich kürzeres Zeitintervall im Vergleich zu alleinigen VKBR. Dies könnte durch einen akuten und schweren Verletzungsmechanismus bei VKBR mit ALL-Läsionen verursacht worden sein, da in der Studienpopulation die Patientinnen und Patienten mit ALL-

Läsionen, deutlich mehr Läsionen in den Kollateralbändern sowie in den Menisci zeigten, als die Studienkohorte mit reinen VKBR.

4.5 Mögliche Schwächen der Studie

Die Rampenläsionen wurden lediglich in der MRT nach Greif et al. (57) klassifiziert. Es besteht zurzeit keine einheitliche Definition und Klassifikation der Rampenläsion, wodurch diese Läsionen oft übersehen werden (154). Aufgrund der fehlenden einheitlichen Klassifikation der Rampenläsion wurden in diese Studie in der Arthroskopie nur meniskokapsuläre Separationen als Rampenläsionen gewertet. Wegen der deutlich umfangreicheren Definition und Klassifikation von Rampenläsionen nach Greif et al. (57), zeigten sich in der MRT deutlich mehr Rampenläsionen als in der Arthroskopie, dadurch war kein direkter Vergleich zwischen MRT und Arthroskopie möglich. Die Häufigkeit der Rampenläsionen und die Verteilungshäufigkeit der einzelnen Typen konnten daher nur deskriptiv mittels MRT beschrieben werden.

Ein Nachteil war die zum Teil kleine Kohortengröße der Studie, vor allem bei den operativ versorgten Rampenläsionen, sowie bei den einzelnen Subtypen der Rampenläsion klassifiziert nach Greif et al. (57). Durch die niedrige Anzahl in diesen Subkohorten bestand nur eingeschränkte Aussagekraft über begleitende Verletzungen, sowie Häufigkeitsverteilung derselben.

Ein weiterer Nachteil der Studie war, dass die intraoperative Beurteilung der anterolateralen Instabilität mittels PST erfolgte, da das ALL in der Arthroskopie nicht visuell darstellbar war. Der Nachteil des PST ist seine hohe Variabilität, da er auf das subjektive Gefühl der untersuchenden Person vertraut (77).

4.6 Abschließende Bewertung und Ausblick

Trotz der steigenden Bekanntheit von Rampenläsionen bei Kniegelenken mit VKBR, sind Rampenläsionen dennoch signifikant unterdiagnostiziert, was erstens auf die primär fehlende präoperative Diagnose in der MRT zurückzuführen ist, sekundär werden Rampenläsionen oft durch unzureichende Portalpositionierung und Visualisierung des PHMM durch die Chirurgin und den Chirurgen übersehen. Durch die verbleibende Instabilität kann es zu vermehrter Knorpelabnutzung und Degeneration kommen (63,65). Zudem können sich nicht versorgte Rampenläsionen zu einem Korbhenkelriss entwickeln (119). Radiologinnen und Radiologen spielen deshalb eine Schlüsselrolle in der

präoperativen Diagnose von Rampenläsionen, Durch eine adäquate Diagnostik sind eine bessere chirurgische Planung hinsichtlich der Platzierung zusätzlicher Portale oder die Durchführung einer gründlicheren posteromedialen Untersuchung des Meniskuskompartiments während der Arthroskopie möglich. Diese Studie konnte die Häufigkeiten der einzelnen Rampenläsionstypen nach Greif et al. (57) zeigen und zudem die gute Anwendbarkeit der Klassifikation in der MRT bestätigen. Ein subchondrales Knochenmarksödem im posteromedialen Tibiaplateau korrelierte mit instabil typisierten Rampenläsionen und kann daher als zusätzliches diagnostisches Zeichen in der MRT angesehen werden. Weitere prospektive Studien sind nötig, um die Klassifikation nach Greif et al. (57) auch in der Arthroskopie anzuwenden und die Ergebnisse der MRT zu bestätigen.

Die Sichtbarkeit des ALL in der MRT, sowie der Nutzen einer ALL-Rekonstruktion, werden bis dato in der Wissenschaft heftig debattiert. Die Beurteilung einer anterioren Translationsinstabilität erfolgte mittels PST, welcher den Nachteil der hohe Untersuchervariabilität hat (77). In der MRT beschriebene Läsionen im ALL könnten hierfür hilfreich für die untersuchende Person sein, da sie einen Hinweis auf eine vorhandene Instabilität geben könnten. Diese Studie konnte die Häufigkeiten von ALL-Läsionen bei Patientinnen und Patienten mit VKBR zeigen. Weitere langfristige, vergleichende klinische Studien sind notwendig um die Vorteile der chirurgischen Rekonstruktion des ALL zu untermauern.

5 Literaturverzeichnis

1. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, et al. Duale Reihe Anatomie. 4.Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 2017.
2. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer - Anatomie des Menschen. 19.Auflage. Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH & Co KG. 2012.
3. Vedi V, Spouse E, Williams A, Tennant SJ, Hunt DM, Gedroyc WMW. Meniscal movement. J Bone Joint Surg Br. 1999;81-B(1):37–41.
4. Harrasser N, Eisenhart-Rothe R, Biberthaler P. Facharztwissen Orthopädie Unfallchirurgie. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2016.
5. Erasmus PJ. Das mediale patellofemorale ligament Funktion, Verletzung und Therapie. Orthopade. 2008;37(9):858–63.

6. Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med.* 1998;26(1):59–65.
7. Hautamaa PV, Fithian DC, Kaufman KR, Daniel DM, Pohlmeier AM. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(349):174–82.
8. Jadodzinski M, Friederich N, Müller W. *Das Knie Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie.* 2.Auflage. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2016.
9. Petersen W, Zantop T. Anatomie der lateralen und medialen Stabilisatoren des Kniegelenks. *Arthroskopie.* 2017;30(1):4–13.
10. DePhillipo NN, Moatshe G, Chahla J, Aman ZS, Storaci HW, Morris ER, et al. Quantitative and Qualitative Assessment of the Posterior Medial Meniscus Anatomy: Defining Meniscal Ramp Lesions. *Am J Sports Med.* 2019;47(2):372–8.
11. Peltier A, Lording T, Maubisson L, Ballis R, Neyret P, Lustig S. The role of the meniscotibial ligament in posteromedial rotational knee stability. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2015;23(10):2967–73.
12. Claes S, Vereecke E, Maes M, Victor J, Verdonk P, Bellemans J. Anatomy of the anterolateral ligament of the knee. *J Anat.* 2013;223(4):321–8.
13. Dodds AL, Halewood C, Gupte CM, Williams A, Amis AA. The anterolateral ligament. *Bone Joint J.* 2014;96-B(3):325–31.
14. Kennedy MI, Claes S, Fuso FAF, Williams BT, Goldsmith MT, Turnbull TL, et al. The anterolateral ligament: An anatomic, radiographic, and biomechanical analysis. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1606–15.
15. Vincent JP, Magnussen RA, Gezmez F, Uguen A, Jacobi M, Weppe F, et al. The anterolateral ligament of the human knee: An anatomic and histologic study. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2012;20(1):147–52.
16. Helito CP, Demange MK, Bonadio MB, Tírico LEP, Gobbi RG, Pécora JR, et al. Anatomy and histology of the knee anterolateral ligament. *Orthop J Sport Med.* 2013;1(7):1–5.
17. Catherine S, Litchfield R, Johnson M, Chronik B, Getgood A. A cadaveric study of the anterolateral ligament: re-introducing the lateral capsular ligament. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2015;23(11):3186–95.
18. Claes S, Bartholomeeusen S, Bellemans J. High prevalence of anterolateral ligament abnormalities in magnetic resonance images of anterior cruciate ligament-injured knees. *Acta Orthop Belg.* 2014;80(1):45–9.

19. Kosy JD, Mandalia VI, Anaspure R. Characterization of the anatomy of the anterolateral ligament of the knee using magnetic resonance imaging. *Skeletal Radiol.* 2015;44(11):1647–53.
20. Terry GC, Hughston JC, Norwood LA. The anatomy of the iliopatellar band and iliotibial tract. *Am J Sports Med.* 1986;14(1):39–45.
21. Sonnery-Cottet B, Daggett M, Fayard JM, Ferretti A, Helito CP, Lind M, et al. Anterolateral Ligament Expert Group consensus paper on the management of internal rotation and instability of the anterior cruciate ligament - deficient knee. *J Orthop Traumatol.* 2017;18(2):91–106.
22. Ariel de Lima D, Helito CP, Lacerda de Lima L, de Castro Silva D, Costa Cavalcante ML, Dias Leite JA. Anatomy of the Anterolateral Ligament of the Knee: A Systematic Review. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg.* 2019;35(2):670–81.
23. Teller P, König H, Weber U, Hertel P. *MRT-Atlas Orthopädie und Unfallchirurgie - Kniegelenk.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2002.
24. Imhauser C, Mauro C, Choi D, Rosenberg E, Mathew S, Nguyen J, et al. 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(4):815–25.
25. Niess C, Stumpf U, Petermann J. Anatomie, Häufigkeit und Verteilung der meniskofemorale Ligamente. *Arthroskopie.* 2000;13(1–2):11–6.
26. Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. *Duale Reihe Orthopädie und Unfallchirurgie.* 6 Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 2009.
27. Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A. Classification of knee ligament instabilities. Part II. The lateral compartment. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(2):173–9.
28. Furman W, Marshall JL, Girgis FG. The anterior cruciate ligament. A functional analysis based on postmortem studies. *J Bone Joint Surg Am.* 1976;58(2):179–85.
29. Papageorgiou CD, Gil JE, Kanamori A, Fenwick JA, Woo SLY, Fu FH. The biomechanical interdependence between the anterior cruciate ligament replacement graft and the medial meniscus. *Am J Sports Med.* 2001;29(2):226–31.
30. Allen CR, Wong EK, Livesay GA, Sakane M, Fu FH, Woo SLY. Importance of the medial meniscus in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *J Orthop Res.* 2000;18(1):109–15.

31. Wroble RR, Grood ES, Cummings JS, Henderson JM, Noyes FR. The role of the lateral extraarticular restraints in the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med.* 1993;21(2):257–63.
32. Dietz GW, Wilcox DM, Montgomery JB. Second tibial condyle fracture: Lateral capsular ligament avulsion. *Radiology.* 1986;159(2):467–9.
33. Goldman B, Pavlov H, Rubenstein D. The Second fracture of the proximal tibia : A small avulsion that reflects major ligamentous damage. *Am J Roentgenol.* 1988;151(6):1163-7.
34. Rixen D, Schoepp C, Tingart M. *Kniechirurgie.* 1.Auflage. München: Elsevier. 2017.
35. Parsons EM, Gee AO, Spiekerman C, Cavanagh PR. The biomechanical function of the anterolateral ligament of the knee. *Am J Sports Med.* 2015;43(3):669–74.
36. Churchill DL, Incavo SJ, Johnson CC, Beynnon BD. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop Rel Res.* 1998 Nov;(356):111-8.
37. Monaco E, Ferretti A, Labianca L, Maestri B, Speranza A, Kelly MJ, et al. Navigated knee kinematics after cutting of the ACL and its secondary restraint. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2012;20(5):870–7.
38. Arilla FV, Guenther D, Yacuzzi C, Azar AAR, Fu FH, Debski R, et al. Effects of anterolateral capsular injury and extra-articular tenodesis on knee kinematics during physical examination. *Orthop J Sport Med.* 2015;3(7):2–3.
39. Saiegh Y Al, Suero EM, Guenther D, Hawi N, Decker S, Krettek C, et al. Sectioning the anterolateral ligament did not increase tibiofemoral translation or rotation in an ACL-deficient cadaveric model. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1086–92.
40. Suero EM, Njoku IU, Voigt MR, Lin J, Koenig D, Pearle AD. The role of the iliotibial band during the pivot shift test. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2013;21(9):2096–100.
41. Park YB, Lee HJ, Ro DH, Lee GY, Kim S, Kim SH. Anterolateral ligament injury has a synergic impact on the anterolateral rotatory laxity in acute anterior cruciate ligament-injured knees. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2019;27(10):3334–44.

42. Hagino T, Ochiai S, Senga S, Yamashita T, Wako M, Ando T, et al. Meniscal tears associated with anterior cruciate ligament injury. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(12):1701–6.
43. Mansori A El, Lording T, Schneider A, Dumas R, Servien E, Lustig S. Incidence and patterns of meniscal tears accompanying the anterior cruciate ligament injury: possible local and generalized risk factors. *Int Orthop.* 2018;42(9):2113–21.
44. Wyatt RWB, Inacio MCS, Bellevue KD, Schepps AL, Maletis GB. Isolated ACL versus multiple knee ligament injury: associations with patient characteristics, cartilage status, and meniscal tears identified during ACL reconstruction. *Phys Sportsmed.* 2017;45(3):323–8.
45. Malatray M, Raux S, Peltier A, Pfirrmann C, Seil R, Chotel F. Ramp lesions in ACL deficient knees in children and adolescent population: a high prevalence confirmed in intercondylar and posteromedial exploration. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2018;26(4):1074–9.
46. Newman JT, Carry PM, Terhune EB, Spruiell MD, Heare A, Mayo M, et al. Factors predictive of concomitant injuries among children and adolescents undergoing anterior cruciate ligament surgery. *Am J Sports Med.* 2015;43(2):282–8.
47. Zoller SD, Toy KA, Wang P, Ebramzadeh E, Bowen RE. Temporal relation of meniscal tear incidence, severity, and outcome scores in adolescents undergoing anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25(1):215–21.
48. Robb C, Kempshall P, Getgood A, Standell H, Sprowson A, Thompson P, et al. Meniscal integrity predicts laxity of anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2015;23(12):3683–90.
49. Melton JTK, Murray JR, Karim A, Pandit H, Wandless F, Thomas NP. Meniscal repair in anterior cruciate ligament reconstruction: A long-term outcome study. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2011;19(10):1729–34.
50. Smith JP, Barrett GR. Medial and lateral meniscal tear patterns in anterior cruciate ligament-deficient knees. A prospective analysis of 575 tears. *Am J Sports Med.* 2001;29(4):415–9.
51. Strobel MJ. *Manual of arthroscopic surgery.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2002.

52. Keene GC r., Bickerstaff D, Rae PJ, Paterson RS. The natural history of meniscal tears in anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med.* 1993;21(5):672–9.
53. Lecouvet F, Van Haver T, Acid S, Perlepe V, Kirchgerner T, Vande Berg B, et al. Magnetic resonance imaging (MRI) of the knee: Identification of difficult-to-diagnose meniscal lesions. *Diagn Interv Imaging.* 2018;99(2):55–64.
54. Liu X, Feng H, Zhang H, Hong L, Wang XS, Zhang J. Arthroscopic prevalence of ramp lesion in 868 patients with anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med.* 2011;39(4):832–7.
55. Thauinat M, Fayard JM, Guimaraes TM, Jan N, Murphy CG, Sonnery-Cottet B. Classification and Surgical Repair of Ramp Lesions of the Medial Meniscus. *Arthrosc Tech.* 2016;5(4):e871–e875.
56. Bollen SR. Posteromedial meniscocapsular injury associated with rupture of the anterior cruciate ligament: A previously unrecognized association. *J Bone Jt Surg Br.* 2010;92(2):222–3.
57. Greif DN, Baraga MG, Rizzo MG, Mohile NV, Silva FD, Fox T, et al. MRI appearance of the different meniscal ramp lesion types, with clinical and arthroscopic correlation. *Skeletal Radiol.* 2020;49(5):677–89.
58. Kaplan PA, Gehl RH, Dussault RG, Diduch DR. Bone contusions of the posterior lip of the medial tibial plateau (contrecoup injury) and associated internal derangements of the knee at MR imaging. 1999;211(3):747–53.
59. Song GY, Liu X, Zhang H, Wang QQ, Zhang J, Li Y, et al. Increased Medial Meniscal Slope Is Associated with Greater Risk of Ramp Lesion in Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *Am J Sports Med.* 2016;44(8):2039–46.
60. Stephen JM, Halewood C, Kittl C, Bollen SR, Williams A, Amis AA. Posteromedial Meniscocapsular Lesions Increase Tibiofemoral Joint Laxity with Anterior Cruciate Ligament Deficiency, and Their Repair Reduces Laxity. *Am J Sports Med.* 2016;44(2):400–8.
61. Naendrup JH, Pfeiffer TR, Chan C, Nagai K, Novaretti JV, Sheehan AJ, et al. Effect of Meniscal Ramp Lesion Repair on Knee Kinematics, Bony Contact Forces, and In Situ Forces in the Anterior Cruciate Ligament. *Am J Sports Med.* 2019;47(13):3195–202.

62. Chahla J, Dean CS, Moatshe G, Mitchell JJ, Cram TR, Yacuzzi C, et al. Meniscal Ramp Lesions: Anatomy, Incidence, Diagnosis, and Treatment. *Orthop J Sport Med.* 2016;4(7):1–7.
63. Allaire R, Muriuki M, Gilbertson L, Harner CD. Biomechanical consequences of a tear of the posterior root of the medial meniscus: Similar to total meniscectomy. *J Bone Jt Surg - Ser A.* 2008;90(9):1922–31.
64. Ahn JH, Bae TS, Kang KS, Kang SY, Lee SH. Longitudinal tear of the medial meniscus posterior horn in the anterior cruciate ligament-deficient knee significantly influences anterior stability. *Am J Sports Med.* 2011;39(10):2187–93.
65. DePhillipo NN, Moatshe G, Brady A, Chahla J, Aman ZS, Dornan GJ, et al. Effect of Meniscocapsular and Meniscotibial Lesions in ACL-Deficient and ACL-Reconstructed Knees: A Biomechanical Study. *Am J Sports Med.* 2018;46(10):2422–31.
66. Edgar C, Kumar N, Ware JK, Ziegler C, Reed DN, DiVenere J, et al. Incidence of Posteromedial Meniscocapsular Separation and the Biomechanical Implications on the Anterior Cruciate Ligament. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(4):e184–92.
67. Mouton C, Magosch A, Pape D, Hoffmann A, Nührenbörger C, Seil R. Ramp lesions of the medial meniscus are associated with a higher grade of dynamic rotatory laxity in ACL-injured patients in comparison to patients with an isolated injury. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2020;28(4):1023–8.
68. DePhillipo NN, Cinque ME, Chahla J, Geeslin AG, Engebretsen L, Laprade RF. Incidence and Detection of Meniscal Ramp Lesions on Magnetic Resonance Imaging in Patients with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2017;45(10):2233–7.
69. Sonnery-Cottet B, Praz C, Rosenstiel N, Blakeney WG, Ouanezar H, Kandhari V, et al. Epidemiological Evaluation of Meniscal Ramp Lesions in 3214 Anterior Cruciate Ligament–Injured Knees From the SANTI Study Group Database: A Risk Factor Analysis and Study of Secondary Meniscectomy Rates Following 769 Ramp Repairs. *Am J Sports Med.* 2018;46(13):3189–97.
70. Balazs GC, Greditzer HG, Wang D, Marom N, Potter HG, Marx RG, et al. Ramp Lesions of the Medial Meniscus in Patients Undergoing Primary and Revision ACL Reconstruction: Prevalence and Risk Factors. *Orthop J Sport Med.* 2019;7(5):1–8.

71. Seil R, Mouton C, Coquay J, Hoffmann A, Nührenbörger C, Pape D, et al. Ramp lesions associated with ACL injuries are more likely to be present in contact injuries and complete ACL tears. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2018;26(4):1080–5.
72. Sonnery-Cottet B, Conteduca J, Thaunat M, Gunepin FX, Seil R. Hidden lesions of the posterior horn of the medial meniscus: A systematic arthroscopic exploration of the concealed portion of the knee. *Am J Sports Med.* 2014;42(4):921–6.
73. Chen Z, Li WP, Yang R, Song B, Jiang C, Hou JY, et al. Meniscal Ramp Lesion Repair Using the FasT-Fix Technique: Evaluating Healing and Patient Outcomes with Second-Look Arthroscopy. *J Knee Surg.* 2018;31(8):710–5.
74. Seil R, Hoffmann A, Scheffler S, Theisen D, Mouton C, Pape D. Rampenläsionen: Tipps und Tricks in Diagnostik und Therapie. *Orthopäde.* 2017;46(10):846–54.
75. Beaufils P, Becker R, Kopf S, Matthieu O, Pujol N. The knee meniscus: Management of traumatic tears and degenerative lesions. *EFORT Open Rev.* 2017;2(5):195–203.
76. Konrads C, Rudert M. *Klinische Tests und Untersuchung in Orthopädie und Unfallchirurgie.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2018.
77. Lane CG, Warren R, Pearle AD. The pivot shift. *J Am Acad Orthop Surg.* 2008;16(12):679–88.
78. Bedi A, Musahl V, Lane C, Citak M, Warren RF, Pearle AD. Lateral compartment translation predicts the grade of pivot shift: A cadaveric and clinical analysis. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2010;18(9):1269–76.
79. Hughston JC, Andrews JR, Cross MJ, Moschi A. Classification of knee ligament instabilities. Part I. The medial compartment and cruciate ligaments. *J Bone Jt Surg.* 1976;58(2):159–72.
80. Breusch S, Clarius M, Mau H, Sabo D. *Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie.* 8.Auflage. München: Elsevier Urban & Fischer Verlag. 2016.
81. Reiser M, Kuhn FP, Debus J. *Duale Reihe Radiologie.* 2.Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 2006.
82. Erickson SJ, Prost RW, Timins ME. The “magic angle” effect: Background physics and clinical relevance. *Radiology.* 1993;188(1):23-5.
83. Hash TW. Magnetic Resonance Imaging of the Knee. *Sports Health.* 2013;5(1):78–107.

84. De Maeseneer M, Shahabpour M, Vanderdood K, Van Roy F, Osteaux M. Medial meniscocapsular separation: MR imaging criteria and diagnostic pitfalls. *Eur J Radiol.* 2002;41(3):242–52.
85. De Smet AA. How I diagnose meniscal tears on knee MRI. *Am J Roentgenol.* 2012;199(3):181–499.
86. Helito CP, Helito PVP, Costa HP, Bordalo-Rodrigues M, Pecora JR, Camanho GL, et al. MRI evaluation of the anterolateral ligament of the knee: Assessment in routine 1.5-T scans. *Skeletal Radiol.* 2014;43(10):1421–7.
87. Taneja AK, Miranda FC, Braga CAP, Gill CM, Hartmann LGC, Santos DCB, et al. MRI features of the anterolateral ligament of the knee. *Skeletal Radiol.* 2015;44(3):403–10.
88. Porrino J, Maloney E, Richardson M, Mulcahy H, Ha A, Chew FS. The anterolateral ligament of the knee: MRI appearance, association with the second fracture, and historical perspective. *Am J Roentgenol.* 2015;204(2):367–73.
89. De Maeseneer M, Boulet C, Willekens I, Lenchik L, De Mey J, Cattrysse E, et al. Second fracture: involvement of the iliotibial band, anterolateral ligament, and anterior arm of the biceps femoris in knee trauma. *Skeletal Radiol.* 2015;44(3):413–21.
90. Van Dyck P, De Smet E, Lambrecht V, Heusdens CHW, Van Glabbeek F, Vanhoenacker FM, et al. The Anterolateral Ligament of the Knee: What the Radiologist Needs to Know. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2016;20(1):26–32.
91. Devitt BM, O’Sullivan R, Feller JA, Lash N, Porter TJ, Webster KE, et al. MRI is not reliable in diagnosing of concomitant anterolateral ligament and anterior cruciate ligament injuries of the knee. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25(4):1345–51.
92. Kızılgöz V, Sivrioğlu AK, Aydın H, Çetin T, Ulusoy GR. Assessment of the anterolateral ligament of the knee by 1.5 T magnetic resonance imaging. *J Int Med Res.* 2018;46(4):1486–95.
93. LaPrade RF, Gilbert TJ, Bollom TS, Wentorf F, Chaljub G. The magnetic resonance imaging appearance of individual structures of the posterolateral knee. A prospective study of normal knees and knees with surgically verified grade III injuries. *Am J Sports Med.* 2000;28(2):191–9.

94. Hartigan DE, Carroll KW, Kosarek FJ, Piasecki DP, Fleischli JF, D'Alessandro DF. Visibility of Anterolateral Ligament Tears in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knees With Standard 1.5-Tesla Magnetic Resonance Imaging. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg.* 2016;32(10):2061–5.
95. Van Dyck P, Clockaerts S, Vanhoenacker FM, Lambrecht V, Wouters K, De Smet E, et al. Anterolateral ligament abnormalities in patients with acute anterior cruciate ligament rupture are associated with lateral meniscal and osseous injuries. *Eur Radiol.* 2016;26(10):3383–91.
96. Song GY, Zhang H, Wang QQ, Zhang J, Li Y, Feng H. Bone Contusions After Acute Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury Are Associated With Knee Joint Laxity, Concomitant Meniscal Lesions, and Anterolateral Ligament Abnormality. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg.* 2016;32(11):2331–41.
97. Helito CP, Helito PVP, Costa HP, Demange MK, Bordalo-Rodrigues M. Assessment of the Anterolateral Ligament of the Knee by Magnetic Resonance Imaging in Acute Injuries of the Anterior Cruciate Ligament. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg.* 2017;33(1):140–6.
98. Zens M, Feucht MJ, Ruhhammer J, Bernstein A, Mayr HO, Südkamp NP, et al. Mechanical tensile properties of the anterolateral ligament. *J Exp Orthop.* 2015;2(1):1–7.
99. Magee T, Williams D. 3.0-T MRI of meniscal tears. *Am J Roentgenol.* 2006;187(2):371–5.
100. Koo B, Lee SH, Yun SJ, Song JG. Diagnostic Performance of Magnetic Resonance Imaging for Detecting Meniscal Ramp Lesions in Patients With Anterior Cruciate Ligament Tears: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2020;48(8):2051–9.
101. Yeo Y, Ahn JM, Kim H, Kang Y, Lee E, Lee JW, et al. MR evaluation of the meniscal ramp lesion in patients with anterior cruciate ligament tear. *Skeletal Radiol.* 2018;47(12):1683–9.
102. Arner JW, Herbst E, Burnham JM, Soni A, Naendrup JH, Popchak A, et al. MRI can accurately detect meniscal ramp lesions of the knee. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2017;25(12):3955–60.

103. Hatayama K, Terauchi M, Saito K, Aoki J, Nonaka S, Higuchi H. Magnetic Resonance Imaging Diagnosis of Medial Meniscal Ramp Lesions in Patients With Anterior Cruciate Ligament Injuries. *Arthrosc - J Arthrosc Relat Surg.* 2018;34(5):1631–7.
104. Borchers JR, Kaeding CC, Pedroza AD, Huston LJ, Spindler KP, Wright RW. Intra-articular findings in primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction surgery: A comparison of the MOON and MARS study groups. *Am J Sports Med.* 2011;39(9):1889–93.
105. Øiestad BE, Engebretsen L, Storheim K, Risberg MA. Knee osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury: A systematic review. *Am J Sports Med.* 2009;37(7):1434–43.
106. Cannon WD, Vittori JM. The incidence of healing in arthroscopic meniscal repairs in anterior cruciate ligament-reconstructed knees versus stable knees. *Am J Sports Med.* 1992;20(2):176–81.
107. Henning CE, Lynch MA, Clark JR. Vascularity for healing of meniscus repairs. *Arthroscopy.* 1987;3(1):13–8.
108. Scott GA, Jolly BL, Henning CE. Combined posterior incision and arthroscopic intra-articular repair of the meniscus. An examination of factors affecting healing. *J Bone Jt Surg Am.* 1986;68(6):847–61.
109. Henche H-R. *Die Arthroskopie des Kniegelenks.* Berlin/Heidelberg: Springer Verlag. 1978. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-662-00583-5>. Accessed Mar 2, 2021.
110. Zhang AL, Allen CR. Chapter 32: Knee Arthroscopy: The Basics. 2019. Available from: https://www.ih-medical.com/wp-content/uploads/2019/07/Knee_Textbook_Arthroscopy-The-Basics.pdf. Accessed Aug 2, 2021.
111. Domnick C, Garcia P, Raschke MJ, Glasbrenner J, Lodde G, Fink C, et al. Trends and incidences of ligament-surgeries and osteotomies of the knee: an analysis of German inpatient records 2005–2013. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(7):989–95.
112. Harner CD, Giffin JR, Duntzman RC, Annunziata CC, Friedman MJ. Evaluation and treatment of recurrent instability after anterior cruciate ligament reconstruction. *Instr Course Lect.* 2001;50:463–74.

113. George MS, Dunn WR, Spindler KP. Current concepts review: Revision anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2006;34(12):2026–37.
114. Jonsson H, Riklund-Åhlström K, Lind J. Positive pivot shift after ACL reconstruction predicts later osteoarthritis: 63 Patients followed 5-9 years after surgery. *Acta Orthop Scand.* 2004;75(5):594–9.
115. Bach BRJ, Tradonsky S, Bojchuk J, Levy ME, Bush-Joseph CA, Khan NH. Arthroscopically assisted anterior cruciate ligament reconstruction using patellar tendon autograft. Five- to nine-year follow-up evaluation. *Am J Sports Med.* 1998;26(1):20–9.
116. Harter RA, Osternig LR, Singer KM, James SL, Larson RL, Jones DC. Long-term evaluation of knee stability and function following surgical reconstruction for anterior cruciate ligament insufficiency. *Am J Sports Med.* 1988;16(5):434–43.
117. Lebel B, Hulet C, Galaud B, Burdin G, Locker B, Vielpeau C. Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament using bone-patellar tendon-bone autograft: a minimum 10-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2008 Jul;36(7):1275–82.
118. Ahn JH, Wang JH, Yoo JC. Arthroscopic all-inside suture repair of medial meniscus lesion in anterior cruciate ligament-deficient knees: Results of second-look arthroscopies in 39 cases. *Arthroscopy.* 2004;20(9):936–45.
119. LaPrade RF, Arendt EA, Getgood A, Faucett SC. *The Menisci: A Comprehensive Review of their Anatomy, Biomechanical Function and Surgical Treatment.* Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. 2017.
120. DePhillipo NN, Engebretsen L, LaPrade RF. Current Trends Among US Surgeons in the Identification, Treatment, and Time of Repair for Medial Meniscal Ramp Lesions at the Time of ACL Surgery. *Orthop J Sport Med.* 2019;7(2):1–5.
121. Kim SH, Lee SH, Kim KI, Yang JW. Diagnostic Accuracy of Sequential Arthroscopic Approach for Ramp Lesions of the Posterior Horn of the Medial Meniscus in Anterior Cruciate Ligament-Deficient Knee. *Arthroscopy.* 2018;34(5):1582–1589.
122. Bumberger A, Koller U, Hofbauer M, Tiefenboeck TM, Hajdu S, Windhager R, et al. Ramp lesions are frequently missed in ACL-deficient knees and should be repaired in case of instability. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):840–854.

123. Woods GW, Chapman DR. Repairable posterior menisco-capsular disruption in anterior cruciate ligament injuries. *Am J Sports Med.* 1984;12(5):381–5.
124. Rodeo SA. Arthroscopic meniscal repair with use of the outside-in technique. *Instr Course Lect.* 2000;49:195–206.
125. Chahla J, Dean CS, Moatshe G, Mitchell JJ, Cram TR, Yacuzzi C, et al. Meniscal Ramp Lesions: Anatomy, Incidence, Diagnosis, and Treatment. *Orthop J Sport Med.* 2016;4(7):2325967116657815.
126. Nelson CG, Bonner KF. Inside-Out Meniscus Repair. *Arthrosc Tech [Internet].* 2013;2(4):e453–60. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.eats.2013.07.006>
127. Rosso C, Kovtun K, Dow W, Mckenzie B, Nazarian A, Deangelis JP, et al. Comparison of all-inside meniscal repair devices with matched inside-out suture repair. *Am J Sports Med.* 2011;39(12):2634–9.
128. Acosta J, Ravaei S, Brown SM, Mulcahey MK. Examining Techniques for Treatment of Medial Meniscal Ramp Lesions During Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2020;36(11):2921-2933.
129. Liu X, Zhang H, Feng H, Hong L, Wang XS, Song GY. Is It Necessary to Repair Stable Ramp Lesions of the Medial Meniscus during Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? A Prospective Randomized Controlled Trial. *Am J Sports Med.* 2017;45(5):1004–1011.
130. Yang J, Guan K, Wang JZ. Clinical study on the arthroscopic refreshing treatment of anterior cruciate ligament injury combined with stable medial meniscus ramp injury. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2017;17(2):108–113.
131. Lane CG, Warren RF, Stanford FC, Kendoff D, Pearle AD. In vivo analysis of the pivot shift phenomenon during computer navigated ACL reconstruction. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2008;16(5):487–92.
132. Trojani C, Beaufils P, Burdin G, Bussi re C, Chassaing V, Djian P, et al. Revision ACL reconstruction: Influence of a lateral tenodesis. *Knee Surgery, Sport Traumatol Arthrosc.* 2012;20(8):1565–70.
133. Saragaglia D, Pison A, Refaie R. Lateral tenodesis combined with anterior cruciate ligament reconstruction using a unique semitendinosus and gracilis transplant. *Int Orthop.* 2013;37(8):1575–81.

134. Sonnery-Cottet B, Thaunat M, Freychet B, Pupim BHB, Murphy CG, Claes S. Outcome of a combined anterior cruciate ligament and anterolateral ligament reconstruction technique with a minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2015;43(7):1598–605.
135. Monaco E, Labianca L, Conteduca F, De Carli A, Ferretti A. Double bundle or single bundle plus extraarticular tenodesis in ACL reconstruction? A CAOS study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(10):1168–74.
136. Colombet P. Knee laxity control in revision anterior cruciate ligament reconstruction versus anterior cruciate ligament reconstruction and lateral tenodesis: Clinical assessment using computer-assisted navigation. *Am J Sports Med.* 2011;39(6):1248–54.
137. Dejour D, Vanconcelos W, Bonin N, Saggin PRF. Comparative study between mono-bundle bone-patellar tendon-bone, double-bundle hamstring and mono-bundle bone-patellar tendon-bone combined with a modified Lemaire extra-articular procedure in anterior cruciate ligament reconstruction. *Int Orthop.* 2013;37(2):193–199.
138. Inderhaug E, Stephen JM, Williams A, Amis AA. Biomechanical Comparison of Anterolateral Procedures Combined with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2017;45(2):347–354.
139. Engebretsen L, Lew WD, Lewis JL, Hunter RE. The effect of an iliotibial tenodesis on intraarticular graft forces and knee joint motion. *Am J Sports Med.* 1990;18(2):169–76.
140. Sonnery-Cottet B, Saithna A, Cavalier M, Kajetanek C, Temponi EF, Daggett M, et al. Anterolateral Ligament Reconstruction Is Associated with Significantly Reduced ACL Graft Rupture Rates at a Minimum Follow-up of 2 Years: A Prospective Comparative Study of 502 Patients from the SANTI Study Group. *Am J Sports Med.* 2017;45(7):1547–1557.
141. Vadalà AP, Iorio R, De Carli A, Bonifazi A, Iorio C, Gatti A, et al. An extra-articular procedure improves the clinical outcome in anterior cruciate ligament reconstruction with hamstrings in female athletes. *Int Orthop.* 2013;37(2):187–192.
142. Ferretti A, Monaco E, Ponzio A, Basigliani L, Iorio R, Caperna L, et al. Combined Intra-articular and Extra-articular Reconstruction in Anterior Cruciate Ligament–Deficient Knee: 25 Years Later. *Arthroscopy.* 2016;32(10):2039–2047.

143. Marcacci M, Zaffagnini S, Giordano G, Iacono F, Presti M Lo. Anterior cruciate ligament reconstruction associated with extra-articular tenodesis: A prospective clinical and radiographic evaluation with 10- to 13-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2009;37(4):707–14.
144. Saithna A, Thauinat M, Delaloye JR, Ouanezar H, Fayard JM, Sonnery-Cottet B. Combined ACL and anterolateral ligament reconstruction. *JBJS Essent Surg Tech.* 2018;8(1):2569–77.
145. Flury A, Hasler J, Imhoff FB, Finsterwald M, Camenzind RS, Helmy N, et al. Modified Lemaire Procedure: Indication, procedure, and clinical results. *Orthopade.* 2019;48(3):248–256.
146. Sonnery-Cottet B, Barbosa NC, Vieira TD, Saithna A. Clinical outcomes of extra-articular tenodesis/anterolateral reconstruction in the ACL injured knee. *Knee Surgery Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(2):596-604.
147. Song GY, Hong L, Zhang H, Zhang J, Li Y, Feng H. Clinical Outcomes of Combined Lateral Extra-articular Tenodesis and Intra-articular Anterior Cruciate Ligament Reconstruction in Addressing High-Grade Pivot-Shift Phenomenon. *Arthroscopy.* 2016;32(5):898-905.
148. Rezende FC, de Moraes VY, Martimbianco ALC, Luzo MV, da Silveira Franciozi CE, Belloti JC. Does Combined Intra- and Extraarticular ACL Reconstruction Improve Function and Stability? A Meta-analysis. *Clin Orthop Rel Res.* 2015;473(8):2609-18.
149. Lording TD, Lustig S, Servien E, Neyret P. Lateral reinforcement in anterior cruciate ligament reconstruction. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology.* 2014 Jan;Vol. 1:3–10.
150. Ireland J, Trickey E. Macintosh tenodesis for AL instability of knee. *J Bone Joint Surg Br.* 1980;62(3):340–5.
151. Ellison AE. Distal iliotibial-band transfer for anterolateral rotatory instability of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1979;61(3):330–7.
152. Kosy JD, Schranz PJ, Patel A, Anaspure R, Mandalia VI. The magnetic resonance imaging appearance of the anterolateral ligament of the knee in association with anterior cruciate rupture. *Skeletal Radiol.* 2017;46(9):1193–1200.

153. Lee DW, Lee JH, Kim JN, Moon SG, Kim NR, Kim DH, et al. Evaluation of Anterolateral Ligament Injuries and Concomitant Lesions on Magnetic Resonance Imaging After Acute Anterior Cruciate Ligament Rupture. *Arthroscopy*. 2018;34(8):2398–2406.
154. Chahla J, Dean CS, Moatshe G, Mitchell JJ, Cram TR, Yacuzzi C, et al. Meniscal Ramp Lesions: Anatomy, Incidence, Diagnosis, and Treatment. *Orthop J Sport Med*. 2016;4(7):2325967116657815.